1924. MAJ. MAI. Nr. 5.
(Ogólnego zbioru Nr. 41).

WIADOMOŚCI METEOROLOGICZNE

wydawane przez Państwowy Instytut Meteorologiczny w Warszawie.

REVUE MÉTÉOROLOGIQUE

publiée par l'Institut Météorologique d'État à Varsovie.

WYKAZ TREŚCI.

Str.

A. B. Dobrowolski: Zagadnienia ruchu powietrza i wody po nierównościach gruntu. (Zagadnienia wydm i zasp, mielizn i namulisk; zagadnienia wiatru halnego, chmur górskich, oraz linji śnieżnej). Część I. Referat wygłoszony w Warsz. Tow. Fizycznem dn. 10.III 1924 63

Biuletyn meteorologiczny.

O przebiegu pogody w m. kwietniu 1924 72
Tablice temperatur średnich i skrajnych w Polsce w m. kwietniu 1924. 73
Wysokość opadów i liczby dni z opadem w miesiącu kwietniu 1924 73

Korespondencja Państrwowego Instytutu Meteorologicznego.

Wędrówka ważki czteroplamej 75
Ciekawy spadek gradu 76

Przegląd literatury.

W. Niebrzydowski: Nautisk-Meteorologisk Aarbog (Nautical-Meteorological Annual); 1923. Kфbenhavn 1924. 76

Bibljografja 78
Mapa opadów 80

TABLE DES MATIÈRES.

Page

A. B. Dobrowolski: Problème du mouvement de l'air et de l'eau sur des accidents du sol. (Problème des dunes et des bas-fonds des rivières; problèmes du fon, des nuages de montagnes et de la ligne de neige). I-ère partie. Conférence donnée à la Société de Physique à Varsovie le 10.III. 1924 63

Biulletin Météorologique.

Résumé climatologique du mois d'Avril 1924 . . . 72
Tables des temperatures moyennes et extrêmes en Pologne au mois d'Avril 1924 73
Précipitations en mm et les nombres des jours avec précipitations au mois d'Avril 1924 73

Correspondance de l'Institut Météorologique d'Etat à Varsovie.

Migration de la Libellula quadrimaculata 75
Curieuse chute de grêle 76

Revue de la littérature.

W. Niebrzydowski: Nautisk-Meteorologisk Aarbog (Nautical-Meteorological Annual), 1923. Kфbenhavn 1924. 76

Bibliographie 78
Carte des précipitations 80

ANTONI BOLESŁAW DOBROWOLSKI.

Zagadnienie ruchu powietrza i wody po nierównościach gruntu.

(Zagadnienia wydm i zasp, mielizn i namulisk; zagadnienia wiatru halnego, chmur górskich oraz linji śnieżnej).
Referat wygłoszony w Warszawskiem Towarzystwie Fizycznem d. 10.III. 1924 r.

Problème du mouvement de l'air et de l'eau sur des accidents du sol.

(Problème des dunes et des bas-fonds des rivières; problèmes du fon, des nuages de montagnes et de la ligne de neige).
Conférence donnée à la Société de Physique à Varsovie le 10.III. 1924.

Wstęp.

Punktem wyjścia i tłem mego referatu jest ten fakt banalny, że powierzchnia ziemi jest *nierówna*.

Grunt lądów — to układ wzniesień i spadków, garbów i zagłębień, przedmiotów sterczących i jam, wszelkiej możliwej postaci i wszelkich rozmiarów, od ziarnka żwiru aż do Himalajów. Powierzchnia morska — to zmienny układ fal różnej a zmiennej postaci i wielkości.

Otóż wszystkie prawie te urozmaicenia powierzchni — to tyleż *przeszkód* dla prądów powietrza lub prądów wody. W pobliżu tych przeszkód — na ich poziomie i po nad niemi, aż do pewnej wysokości — prądy te ulegają określonym, swoistym *modyfikacjom.*

Modyfikacje te będą, oczywiście, rozmaitego stopnia i rozmaitej postaci, zmienne w przestrzeni i czasie, gdyż zależne od kształtu, wielkości, orjentacji i ugrupowania przeszkód, zarówno jak od szybkości prądu. Polegać zaś będą przedewszystkiem na odkształceniach linij prądowych — na powstawaniu ognisk ich zbieżności i rozbieżności, więc miejscowych maximów i minimów szybkości, i na wytwarzaniu w ten sposób rozmaitych *fal wymuszonych* (fal stojących), — prócz tego, na rozczłonkowywaniu się linij prądowych, wewnątrz tych fal, na rozmaite układy swoistych *wirów* — wirów *wymuszonych* („przeszkodowych").

W ten sposób, *warstwa przyziemna atmosfery* (i wód bieżących) — warstwa o bardzo różnej, miejscami bardzo znacznej grubości, stanowi warstwę *dynamicznie odrębną*, ożywioną ruchem o *postaci swoistej*. Ten fakt wystarcza, by warstwę tę przyziemną wziąć w rachubę, aby traktować ją *osobno*, badać *osobno*; by prawa ruchu tej warstwy starać się wykryć.

Kwestja to nietylko interesująca i ważna sama w sobie i w swej ogólności, lecz i stąd jeszcze, że związane są z nią, jako części z całością, *kwestje szczególne*, wzbudzające specjalne zainteresowanie i mające specjalną wagę naukową, a nawet praktyczną. Co się tyczy *hydrologji*, to możnaby może wątpić o zbyt wielkiej doniosłości, nawet naukowej, sprawy krążenia wody po porohach (kataraktach); jednak nie można wątpić o ważności — i naukowej, i praktycznej — zagadnienia o mechanizmie tworzenia się i rozwoju namulisk i mielizn. Co się zaś tyczy *meteorologji*, to mamy tu cały szereg problemów pierwszorzędnej wagi. Z jednej strony — tworzenie się *wydm*, zarówno wymuszonych przez przeszkody — t. zw. zasp piaszczystych i śnieżnych, — jak i wydm swobodnych (gdyż te stają się same przeszkodami w chwili powstawania)—zagadnienie tak ważne dla geografji fizycznej; z drugiej strony—*meteorologja górska* i cały szereg specjalnych górskich problemów: kwestja *dolnej granicy wiecznych śniegów; chmury górskie*, stojące i wędrowne; wreszcie zagadka *wiatru halnego* i zjawisk mu towarzyszących — t. zw. *zjawisk fenowych;* wszystkie te zagadnienia sprowadzają się do zagadnienia ruchu powietrza po nierównościach gruntu.

Otóż w tych wszystkich sprawach dotąd panuje mrok. Można powiedzieć, że *naukowo* nie były one dotychczas wcale traktowane.

Nie można wprawdzie powiedzieć, by nie badano wogóle *zjawisk*, które przed chwilą wymieniliśmy. Owszem. Inżynierowie badają wszak mielizny rzeczne. Meteorologowie i geografowie fizyczni badają zaspy i wydmy, badają chmury górskie, zarówno jak warunki linji śnieżnej; a literatura, dotycząca wiatru halnego, tak już jest obfita, że możnaby z prac o zjawiskach fenowych sporządzić wcale ładną bibljoteczkę.

Ale brak jest zupełny *teorji naukowej*.

Jest to poprostu zastanawiające, jak pierwotnem, jak prostaczo-najwnem tłómaczeniem obywają się badacze tych zjawisk. Nawet gdy uda im się dostrzec, na drodze obserwacji bezpośredniej, jakiś szczegół formy ruchu, o którym mowa, — tłómaczą go sobie zbyt „poprostu", zbyt „zdrowym chłopskim rozumem".

Oto kilka przykładów:

Ten i ów zauważył, że podczas zamieci śnieżnej lub piaszczystej, piasek lub śnieg wirują z przodu przeszkody. Wir ten A. Hamberg, wybitny geograf szwedzki, tłómaczy sobie tak, że prąd w zetknięciu z przeszkodą rozbija się na cztery gałęzie: prawą, lewą, górną i dolną, — dolna nie może się wymknąć dołem, bo zatrzymana jest przez grunt, więc się „zawija" — i tworzy wir; zaś Staff, znany geograf-alpinista i badacz wydm, inaczej nieco sobie ów wir tłómaczy: prąd, trafiając na przeszkodę, ma „odbijać się" od niej, a hamowany w tem odbiciu, zmuszony jest do wirowania...

Powszechnie zaś zauważono inny wir, z tyłu przeszkody; ten wir zazwyczaj objaśniają sobie tem, że z tyłu przeszkody powstaje depresja; dlaczego powstaje depresja, to sobie tłómaczą np. tak: z przodu przeszkody nagromadza się powietrze, z tyłu zaś powstaje jego deficyt... Lub, np., tenże Hamberg zauważa ciekawe zjawisko: oto stromy spadek równiny, ku któremu wieje wiatr panujący; tuż za krawędzią ściany, na wyżynie, czasami również tuż przed krawędzią, na ścianie urwiska, bieleje wał śniegu, chociaż zdawałoby się, że wiatr powinien go przecież zmieść; otóż Hamberg przypuszcza, że prąd powietrza „przeskakuje" przez krawędź, że ją „omija", — i nawet daje tego „przeskoku" rysunek schematyczny...

Widzimy więc, jak rzecz stoi, a przyczyna tego stanu rzeczy jest następująca:

Jest oczywistem, że aby móc wogóle mówić o ruchu powietrza lub wody po nierównościach

gruntu, i aby móc kusić się o jakieś tłómaczenie zjawisk, od tego ruchu zależnych, należy przedewszystkiem rozwiązać następujące zadanie z hidrodynamiki: *dana jest przeszkoda na podłożu prądu, wyznaczyć deformację prądu, to znaczy formę ruchu dokoła przeszkody.*

Otóż to zagadnienie dotychczas nie jest rozwiązane. Jest nawet *nietknięte*, gdyż nie było nawet, o ile wiem, stawiane przez hidrodynamikę. Mimo że stykamy się z niem, jak to podkreślaliśmy, ciągle i wszędzie na całej powierzchni ziemi; mimo iż leży ono u podstawy zjawisk ziemskich bardzo powszechnych i bardzo ważnych, — nie interesowało przecież hidrodynamików.

Inne bowiem zagadnienie interesowało uczonych i techników: zagadnienie przeszkody *swobodnie* w prądzie zawieszonej, czyli zagadnienie ciała poruszającego się wewnątrz płynu. A i tutaj, przedewszystkiem interesują się sprawą *oporu* — chodzi wszak o torpedy i łodzie podwodne, o pociski powietrzne i samoloty, — podczas, gdy sprawa morfologji ruchu, rozkładu kierunków i szybkości dokoła przeszkody — sprawa, co nas tutaj przedewszystkiem obchodzi — jest raczej zaniedbana. Zresztą, pomimo iż problem przeszkody swobodnej absorbował już ludzi od bardzo dawna, to jednak poważne jego pchnięcie naprzód — dla płynów rzeczywistych, to znaczy lepkich — datuje się od bardzo niedawna — od czasu ogłoszenia prac Kármána (w 1911 r.) i Prandtla (w 1913 r.), co ustaliły pojęcie *warstwy wirowej* i pojęcie *oderwania*[1]).

CZĘŚĆ PIERWSZA.

Przedtem zanim spróbujemy dotknąć zagadnienia, o które nam idzie: zagadnienia *przeszkody sprzężonej z podłożem*, musimy sobie zdać sprawę z tego, co wiemy dziś o formie ruchu płynu dokoła *przeszkody swobodnej*, ten bowiem problem jest nietylko naszemu pokrewny, ale nawet ogólniejszy, a jest już jako tako obrobiony i teoretycznie i doświadczalnie. Sporo już faktów odnośnych otrzymało się, jako wnioski z teorji Kármána-Prandtla (opartej na pojęciu powierzchniowej „warstwy wirowej" i na pojęciu oderwania), potwierdzone przez doświadczenia, lub jako wyniki doświadczeń, uzgadniane z teorją. Uzupełniłem je kilku faktami, wypływającemi z tejże teorji, na które nie zwrócono uwagi, gdyż — jak mówiłem już — na morfologję ruchu wogóle nie kładziono wielkiego nacisku — tyle tylko, ile trzeba jej było w związku z zagadnieniem *oporu*.

Ponieważ wszystkie te wyniki teoretyczne i doświadczalne, rozproszone w nowszej literaturze, nie są jeszcze nigdzie w całości zebrane, pozwolę więc sobie tutaj ująć je pokrótce w pewną całość. Będzie to tylko kwintesencja — dogmatyczny konspekt samych wyników, bez odnośnych uzasadnień, więc i bez wzorów.

* * *

Fizjonomja ruchu płynu dokoła przeszkody swobodnej (wzgl. dokoła poruszającego się ciała) zdaje się zależeć przedewszystkiem od zespołu następujących trzech wielkości: 1) lepkości kinematycznej ν (lepkości w stosunku do gęstości), 2) szybkości v, 3) wymiarów linjowych przeszkody a,— czyli od wartości t. zw. liczby Reynoldsa $\left(\frac{va}{\nu}\right)$. Jednak postać ruchu okazuje się jeszcze zależną od różnych szczegółów *formy* przeszkody. To sprawia, że niełatwem jest wyznaczenie jednoznaczne „krytycznych" wartości liczby Reynoldsa (zarówno jak „krytycznej" szybkości, „krytycznej" lepkości kinematycznej, „krytycznych" wymiarów linjowych), że więc niełatwą jest rzeczą podanie rzetelnej klasyfikacji postaci ruchu, o których mowa.

Jakąś jednak klasyfikację podać tu jestem zmuszony, gdyż jest mi ona, oczywiście, nieodzowna do wykładu. Wyróżniam więc dwie fizonomje ruchu „skrajne", zupełnie określone, połączone ze sobą „*pasem przejściowym*" postaci pośrednich.

1) Powyżej pewnej granicznej wartości ν (powyżej „górnej" lepkości krytycznej), lub poniżej pewnej granicznej wartości a (poniżej „dolnego" wymiaru krytycznego), lub wreszcie poniżej pewnej granicznej wartości v (poniżej „dolnej" szybkości krytycznej), wogóle: *poniżej* pewnej wartości liczby

---

[1]) Kármán, Ueber den Mechanismus des Widerstandes, den ein bewegter Körper in einer Flüssigkeit erfährt. Nachr. Kön. Gesell. d. Wissensch. zu Göttingen, 1911, Heft 5, pp. 509 etc.

Prandtl, Abriss der Lehre von der Flüssigkeits-und Gasbewegung, Jena, 1913.

Reynoldsa, ruch płynu dokoła przeszkody będzie kształtowany *wyłącznie przez lepkość*; i jakikolwiek będzie kształt ciała, jakakolwiek krzywizna jego konturu, nigdy tu nie będzie burzliwości, nigdy nie będzie wirów — ani niestatecznych, ani statecznych.

2) Poniżej pewnej granicznej wartości ν (poniżej „dolnej" lepkości krytycznej), lub powyżej pewnej granicznej wartości *a* (powyżej „górnego" wymiaru krytycznego), lub wreszcie powyżej pewnej granicznej wartości *v* (powyżej „górnej" szybkości krytycznej), wogóle: *powyżej* pewnej wartości liczby Reynoldsa, ruch płynu dokoła przeszkody będzie kształtowany prawie wyłącznie przez *oderwanie* (chyba że kształt ciała będzie „kształtem prądowym", czyli, że krzywizna jego konturu nie przekroczy pewnej granicy), które to oderwanie będzie *zupełne*, to znaczy, że z tyłu przeszkody ciągnąć się będzie smuga burzliwa z *wirów niestatecznych, wędrownych* (fig. 1).

3) Pomiędzy temi skrajnemi fizjonomjami ruchu, zupełnie określonemi, a więc w warunkach — lepkości, czy też wymiarów linjowych, czy wreszcie szybkości — pośrednich pomiędzy warunkami krytycznemi „dolnemi" a „górnemi", — będziemy mieli najróżniejsze *pośrednie* postaci ruchu. Tak np., lepkość kinematyczna może być zawielka, lub wymiary linjowe niewystarczające, lub wreszcie szybkość niedostateczna, iżby wiry odrywały się od przeszkody zupełnie, i zamiast łańcucha zmiennych wirów niestatecznych, wędrownych, ustali się wtedy *wir stateczny*, przywiązany do tyłu przeszkody (fig. 2).

Z pośród dwóch wskazanych fizjonomij skrajnych, pierwsza, wyznaczana wyłącznie przez lepkość, jest dotychczas jeszcze wciąż postacią teoretyczną — postulatem, gdyż nie jest zilustrowaną dotąd żadnem doświadczeniem, a w naturze prawie się nie spotyka. Druga zaś skrajna postać, wyznaczona przez oderwanie, zdaje się być panującą w naturze. Trudno jednak jest wyznaczyć granice, oddzielające tę postać skrajną od pasa przejściowego — pasa postaci pośrednich, może równie częstych w naturze; to znaczy, iż trudno jest ustalić „dolną" lepkość krytyczną (dla danych wymiarów i danej szybkości), lub „górny" wymiar krytyczny (dla danej lepkości kinematycznej i danej szybkości), lub wreszcie „górną" szybkość krytyczną (dla danej lepkości kinematycznej i danych wymiarów). A to dlatego, że graniczna ta wartość — jak to już wzmiankowaliśmy wyżej — okazuje się zależna od różnych szczegółów kształtu przeszkody, między innemi od *stopnia krzywizny* konturu. Mianowicie, jeżeli zwiększać stopniowo szybkość ciała o danych wymiarach i o krzywiźnie konturu silniejszej od krzywizny dozwolonej dla kształtu prądowego, w płynie o danej lepkości kinematycznej, wtedy przekroczenie „górnej" szybkości krytycznej, to znaczy: przejście z pasa postaci pośrednich do postaci skrajnej z wirami wędrownemi, nastąpi tem wcześniej, im krzywizna konturu będzie silniejsza, szczególnie więc ułatwione będzie przez ostre krawędzie, a najwcześniej nastąpi, oczywiście, gdy ciało będzie miało kształt cienkiej płyty poprzecznej względem kierunku ruchu. Z tem zastrzeżeniem, i zakładając stałe ν i *a*, rozpatrzymy naprzód, zupełnie pobieżnie, pierwszą postać skrajną ruchu (poniżej „dolnej" szybkości krytycznej), następnie — bardziej szczegółowo — drugą skrajną postać (powyżej „górnej" szybkości krytycznej), przy której omawianiu potrącimy także o pewne postaci pośrednie.

A.

Pierwszy wypadek skrajny: szybkość poniżej szybkości krytycznej „dolnej".

W tym wypadku — doświadczalnie jeszcze niezbadanym — którego zasadniczem znamieniem wyróżniającem jest zwykły *opór lepkości* (opór styczny, opór powierzchniowy) *proporcjonalny do* **pierwszych** *potęg szybkości* — niemasz jeszcze dokładnego zróżnicowania płynu na prąd właściwy i na powierzchniową *warstwę wirową*, wyraźnie wyodrębnioną w postaci układu cienkich wałeczków wirowych, toczących się po powierzchni ciała: cała masa płynna objęta jest powolnem ruchem wirowania — toczenia się po powierzchni. Wykluczone więc jest, oczywiście, odrywanie się warstwy wirowej, tem samem — wszelka burzliwość. Oblicze ruchu płynu lepkiego dokoła przeszkody podobnem się staje, w tym wypadku, do ruchu płynu teoretycznego nielepkiego — tem mianowicie, że *jakikolwiek kształt* będzie miała przeszkoda, będzie ona zawsze *ciałem linij prądowych* — krócej mówiąc: *ciałem prądowem*, to znaczy, że układ linij prądowych zawsze się będzie umiał do wszelkiego kształtu ściśle dopasować, że powierzchnia ciała zawsze będzie powierzchnią linij prądowych,— krócej: *powierzchnią prądową*.

Ponieważ ruchy powietrza i wody, spostrzegane w naturze, prawie zawsze są powyżej owej dolnej granicy krytycznej, — ten więc wypadek nas tutaj nie obchodzi[2]).

B.

Drugi wypadek skrajny: szybkość powyżej szybkości krytycznej „górnej".

W tym wypadku—którego charakterystyką jest *opór,* również pochodzący, ostatecznie, z lepkości, ale *proporcjonalny do* **kwadratów** *szybkości* albo w *przybliżeniu* (w wypadku braku oderwania, to znaczy w wypadku ciała prądowego: opór lepkości, opór styczny), albo *ściśle* (w wypadku oderwania, to znaczy w wypadku ciała *nieprądowego*: opór oderwania, opór dynamiczny)—ruch wirowania i toczenia się po powierzchni bardzo wyraźnie się wyodrębnia, ograniczając się do cienkiej *warstwy wirowej,* to znaczy do układu cienkich *wałeczków wirowych,* spółprzyległych, prostopadłych do kierunku ruchu i *toczących* się po powierzchni przeszkody w kierunku prądu. *Grubość* tej warstwy wirowej (to znaczy: średnica wałków wirowych) jest w *odwrotnym stosunku do szybkości.* Dla powietrza—według wyznaczeń Żukowskiego[3])—szybkościom: 1, 5, 10, 20, 30 cm/sek, odpowiadają grubości warstwy wirowej: 10, 2, 1, 0·5, 0·3 mm.

Poza temi cechami ogólnemi, ruch płynu w pobliżu przeszkody przybiera dwa bardzo różne oblicza zależnie od tego, czy warstwa wirowa *odrywa się* od powierzchni, czy też się *nie* odrywa.

To zaś zależy od tego, czy przeszkoda nie jest, czy jest *ciałem prądowem.*

A to znowu zależy, *w tym wypadku*, od pewnych *granicznych* właściwości kształtu przeszkody—mianowicie od pewnych granic *krzywizny* jej ogólnego konturu, jej ogólnego *profilu* wziętego równolegle do ruchu — od tego, czy ta krzywizna przekracza, czy nie przekracza pewnej granicznej wartości.

Bardziej szczegółowe warunki, którym ma odpowiadać kształt ciała prądowego w cieczy lepkiej przy szybkości większej od krytycznej, dadzą się streścić — zdaje mi się — jak następuje:

1) Ciało ma być *wydłużone* w kierunku ruchu.

2) *Symetrja* względem osi podłużnej, lub względem płaszczyzn przechodzących przez tę oś, nie jest warunkiem koniecznym. Przykład: ciało ryb, spłaszczone z dwóch boków i niesymetryczne względem płaszczyzny poziomej.

Nie wymagana jest też wcale symetrja względem największego przekroju poprzecznego. Czoło może być bez porównania bardziej krępe od tyłu. Przykład: skrzydło ptaka.

3) Im większa jest *lepkość kinematyczna* płynu, tem na silniejszą krzywiznę pozwolić sobie może ciało prądowe. Przykład: dobrzy pływacy pośród *ryb* mają ciało o wiele *smuklejsze* od dobrych latawców pośród *ptaków*[4]) — powietrze jest *14 razy* więcej lepkie od wody.

4) Wreszcie, najmniejsze zniekształcenie formy ciała prądowego, to znaczy: najmniejsze przekroczenie krzywizny dozwolonej, może wystarczyć do przemiany tego ciała na ciało nieprądowe, to znaczy do oderwania się warstwy wirowej i do burzliwości. Burzliwość ta w szybkościach względnie małych może być tak niewyraźna, że nie da się stwierdzić, —uwidoczniając się jednak w szybkościach większych. Dobrą tego ilustrację znalazłem w pięknym zbiorze zdjęć Ahlborna[5]). Są tam dwie fotografje, uwidoczniające profil ruchu wody dokoła tego samego modelu torpedy, ale przy dwóch różnych szybkościach. (Różnicy tej sam Ahlborn nie zauważył, gdyż na to nie zwrócił uwagi).

I. Wypadek ciała prądowego

(o krzywiźnie ogólnego konturu nie przekraczającej pewnej granicy, np. ciało kształtu cygara).

W tym wypadku *niemasz* oderwania się warstwy wirowej. Warstwa ta ma wtedy postać cienkiej *pochwy wirowej,* przylegającej ściśle do ciała we wszystkich punktach powierzchni.

---

[2]) Zato zwrócę nawiasem uwagę, że pogłębiona analiza tego wypadku, — dla której punktem wyjścia byłyby wzory podane w § 323 Hidrodynamiki Lamba w III wydaniu, — miałaby pierwszorzędne znaczenie dla *teorji ruchu lodowców.*

[3]) Joukowski, Aerodynamique, trad. de russe par S. Drzewiecki, Paris 1916 (kurs wykładany w uniwersytecie moskiewskim).

[4]) Por. Lanchester, Aerodynamik, przekł. niem., wstęp.

[5]) Ahlborn, Ueber den Mechanismus des hydrodynamischen Widerstandes. 34 fotografje. Hamburg, daty wydania na egzemplarzu nie znalazłem.

Ponieważ szybkość w pobliżu powierzchni w różnych miejscach będzie różna — *maxima* u ogniska zbieżności linij prądowych, to znaczy: pośrodku u największego przekroju poprzecznego, *minima* u samego czoła i w samym tyle, u ognisk rozbieżności linij prądowych; ponieważ z drugiej strony wiemy, że grubość warstwy wirowej jest w odwrotnym stosunku do szybkości; wynika stąd, że pochwa wirowa, względnie gruba na samym przodzie, cienieć będzie ku największemu przekrojowi poprzecznemu, skąd znowu będzie grubiała ku tyłowi.

Pochwa ta składać się będzie z wałków wirowych, obejmujących ciało — to znaczy: z *obręczy wirowych* (podobnych do kółek dymu z papierosa), prostopadłych do kierunku ruchu, toczących się po powierzni w kierunku ruchu prądu. W chwili powstania u czoła przeszkody, każda obręcz wirowa jest względnie gruba, a otwór ma minimalny i szybkość ruchu minimalną. W miarę jak toczy się ku miejscu największego przekroju, toczy się coraz szybciej, staje się coraz cieńsza i coraz szersza. Z tego zaś miejsca toczy się coraz wolniej, staje się coraz grubsza i coraz węższa. Gdy przeszkoda nie jest ciałem obrotowem, jedna i ta sama obręcz bywa, oczywiście, niejednakowo gruba w różnych punktach obwodu: np. pochwa wirowa, otaczająca ciało ryby poruszającej się w wodzie, będzie naogół grubsza na brzuchu, bardziej płaskim, niż na grzbiecie, bardziej wypukłym, — a najgrubsza będzie na bokach, jako najbardziej spłaszczonych. *Gwałtowne zmiany grubości* w kierunku od największego przekroju ku tyłowi są *wykluczone*, gdyż niemasz w tym kierunku gwałtownych zmian w szybkości — a to dlatego, że w konturze podłużnym ciała prądowego nie może być zbyt silnej krzywizny. W *czołowej* zato części, ku największemu przekrojowi, krzywizna może być sobie silna, więc i zmiana grubości pochwy może być sobie gwałtowna.

Poza cienką pochwą wirową, ruch płynu nie ulega żadnemu zaburzeniu, a układ linij prądowych dopasowany jest dokładnie do konturu ciała — ściśle mówiąc: do zewnętrznej powierzchni pochwy wirowej.

Co do *oporu*, to doświadczenie zarówno jak rachunek uczą, że wzrasta on w *przybliżeniu* do *kwadratów szybkości*, — wzrastając w *przybliżeniu* w stosunku odwrotnym do grubości pochwy wirowej, która to grubość, jak wiemy, zmienia się w stosunku odwrotnym do szybkości.

Co zaś do *energji*, zużywanej na pokonanie tego oporu (będącego tutaj wyłącznie zwykłym oporem lepkości, oporem stycznym), to zatraca się ona, oczywiście, odrazu w *postaci ciepła.*

Wypadek ciała prądowego jest, oczywiście, wypadkiem bardzo szczególnym. W naturze, spotykamy kształty prądowe *systematycznie* tylko wśród organizmów żywych, przystosowanych do pływania lub lotu.

Bardziej więc dla nas interesującym jest:

II. Wypadek ciała nieprądowego

(o krzywiźnie ogólnego konturu przekraczającej pewną granicę, np. ciało kształtu płyty).

W tym wypadku mamy do czynienia z *oderwaniem* się warstwy wirowej. Oderwanie to prowadzi za sobą:

1) burzliwość — to znaczy niestateczność ruchu w postaci ciągnącej się za ciałem smugi burzliwej, czyli *obszaru oderwania*, utworzonego przez układ *wędrownych wirów niestatecznych;*
2) nowy rodzaj oporu — opór dynamiczny, t. zw. *opór oderwania*, — o wiele znaczniejszy od zwykłego oporu lepkości — oporu stycznego.

1. *Mechanizm oderwania* jest następujący:

Przekroczywszy miejsce największego przekroju poprzecznego — miejsce największej szybkości, — dana obręcz wirowa natrafia na *zbyt silną krzywiznę*—na zbyt wielki spadek powierzchni, cechujący ciało nieprądowe. Przez to, ruch tej obręczy wirowej (ruch toczenia się) ulega mniej lub więcej *gwałtownemu zwolnieniu*. To zaś gwałtowne zwolnienie powoduje podmywanie przez prąd i wreszcie *oderwanie* się obręczy wirowej od powierzchni ciała,—lub nawet *całej spójnej paczki takich obręczy* — i popłynięcie jej w dal. Napływające kolejno, toczące się po powierzchni obręcze wirowe kolejno się odrywają w tem samem miejscu, jedne za drugiemi, tworząc z tyłu ciała łańcuch obręczy swobodnie płynących — *układ wirów niestatecznych*, wirów wędrownych. Podkreślamy tu dwie rzeczy, które nam się później bardzo przydadzą: 1) *bezpośrednią* przyczyną oderwania nie jest zbyt silna krzywizna konturu, lecz zbyt gwałtowne *zwolnienie ruchu* obręczy wirowych; można więc

pomyśleć sobie oderwanie, wywołane nie koniecznie przez zbyt silną krzywiznę, lecz przez jakieś inne okoliczności; 2) mogą się odrywać nietylko pojedyncze obręcze, ale i całe ich spójne *paczki*.

2. Tak się odbywa odrywanie się wirów składowych warstwy wirowej.

Rozpatrzmy teraz ich ruch oraz ich *układ* (fig. 1).

Oderwawszy się od powierzchni ciała, obręcze wirowe pędzą sobie w dal wraz z prądem. Toczyły się przedtem po przeszkodzie w kierunku prądu, teraz się toczą *po otaczającym je prądzie*, więc „do góry nogami", zatem w kierunku *przeciwnym* — ku przeszkodzie; jednocześnie jednak unoszone są przez prąd, — ostatecznie więc biegną w *kierunku prądu*, ale *wolniej od prądu*. W miarę oddalania się od ciała, obręcze wirowe, naskutek lepkości, stopniowo rozpraszają swoją energję, wyczerpują się, aż wreszcie — na pewnej odległości — *zanikają jako takie* i przechodzą w normalny układ linij prądowych (fig. 1).

Co się tyczy ich *układu*, te wiry niestateczne układają się w porządek określony i bardzo swoisty: w tak zw. *„łańcuszek Kármána"*. Jak się przedstawia to ich ustosunkowanie wzajemne *w trzech wymiarach*, tego dokładnie i pewnie się nie wie. Obserwuje się „łańcuszek Kármána" w *profilu*, rysowanym np. przez pył Lycopodium na powierzchni cieczy, w której zanurzone jest ciało; z obręczy wirowej widzi się zatem tylko *jej przekrój w płaszczyźnie równoległej do ruchu*, to znaczy: profile dwóch przeciwległych gałęzi obręczy—*dwa obrazy wirowe* widziane po dwóch bokach profilu ciała. Otóż te dwa profile zdają się nie odrywać *jednocześnie* od ciała; znajdują się bowiem nie w płaszczyźnie prostopadłej, lecz w płaszczyźnie *ukośnej* do kierunku ruchu — są *asymetryczne*, a jeśli rozpatrywać profile *całego układu* wirów, wtedy stwierdza się, że profile te zajmują *wierzchołki prawidłowej linji łamanej* — to znaczy: że profile prawe i profile lewe pędzą w dwóch regularnych łańcuchach, prawym i lewym, — dwiema t. zw. *drogami wirów*, prostemi i równoległemi, ułożone *niesymetrycznie*, — a stosunek między odległością wzajemną tych dwóch dróg, a odległością wzajemną dwóch kolejnych profilów na tej samej drodze, okazuje się *stały*, równy 2,806.

Doświadczenia, które uwidaczniają łańcuszek Kármána, robiono z ciałami postaci bardzo szczególnej: z cienkiemi prętami poprzecznemi do kierunku ruchu. W tym szczególnym wypadku, obręcze wirowe tak są *spłaszczone*, że praktycznie nie są to już obręcze, lecz poprostu dwa równoległe układy, prawy i lewy (czy też górny i dolny) *prostolinijnych wałków wirowych*, poprzecznych do kierunku ruchu, posuwających się w kierunku prądu.

W pięknym zbiorze Ahlborna[6]) udało mi się jednak znaleść bardzo ładne zdjęcie łańcuszka Kármána, z tyłu ukośnej płyty czworobocznej—więc zdjęcie profilu właściwych obręczy wirowych, — wprawdzie tylko początek łańcuszka—dwa obrazy wirowe na górnej drodze wirów, jeden obraz wirowy na drodze dolnej — ale bardzo wyraźne, dobrze wykształcone. (Sam Ahlborn tego nie zauważył: zdjęcia swe robił nadługo przed zjawieniem się odkryć Kármána.

3. Profile te pozwalają nam mniej więcej odcyfrować *całość obszaru oderwania*, ciągnącego się z tyłu ciała w postaci smugi burzliwej.

Obszar ten ma postać *cylindra wydłużonego* w tył w kierunku ruchu, o przekroju odpowiadającym przekrojowi przeszkody w miejscu oderwania. Składa się on z części obwodowej i z części osiowej.

Część obwodowa utworzona jest przez *układ wirów niestatecznych*, wędrownych, wraz z ich atmosferami. Kontur zewnętrzny, zarówno jak kontur wewnętrzny tej pochwy będzie zatem *falisty*, a falistość ta będzie, oczywiście, wciąż *zmienna* i — jak to widzieliśmy z profilów — *asymetryczna*. Wynika stąd, że przylegająca część otaczającego prądu (po której toczą się wiry), zarówno jak część wewnętrzna, osiowa samego obszaru, będą przez wiry te wprawione w *ruch falisty*.

Część osiowa obszaru oderwania, ograniczona przez wewnętrzne skręty wirów, skierowane w kierunku przeciwnym prądowi, przedstawia *strumień osiowy* — poruszający się także w kierunku prądu, ale z szybkością, oczywiście, *jeszcze mniejszą* od wirów, a *wzdłuż samej osi* obszaru (ob. fig. 1) szybkość wypadnie *najmniejsza*.

Cylindryczny ten obszar oderwania, z *przodu* ograniczony przez przeszkodę (z której bocznych powierzchni wciąż się odnawia), z *boków* ograniczony przez prąd, — z *tylu* niema i mieć nie może *wyraźnej granicy*. Wiry bowiem wędrowne wyczerpują się i wyrodnieją po drodze *stopniowo;* różnice więc, dynamiczne i morfologiczne, pomiędzy obszarem oderwania a porządkiem normalnym

---

[6]) l. c.

otaczającego prądu, zmniejszają się w kierunku od przodu ku tyłowi obszaru stopniowo, i układ wirowy przechodzi *nieuchwytnie* w układ normalnych linij prądowych (fig. 1).

4. Tak się przedstawia schemat *morfologji* obszaru oderwania.

Co się tyczy *oporu*, to zjawia się tu opór *nowy*, różny od zwykłego oporu lepkości, pochodzący *ostatecznie* — oczywiście z lepkości, bezpośrednio jednak — z faktu oderwania: opór *oderwania*, opór *dynamiczny*.

Zaraz przed miejscem oderwania — w ognisku zbieżności linij prądowych—panuje maximum szybkości, więc *minimum ciśnienia;* a w obszarze oderwania za ciałem panuje *ciśnienie, równe ciśnieniu w miejscu oderwania*. Wytwarza się więc znaczna *różnica ciśnienia* z przodu a z tyłu przeszkody, tem samem zaś wypadkowa sił, działająca w kierunku ruchowi przeciwnym, jest tu, ceteris paribus, o wiele większa, niż w wypadku ciała prądowego. Dlatego w wypadku ciał *nieprądowych* wypada się liczyć praktycznie tylko z oporem oderwania, wobec którego opór styczny (bezpośrednio wytwarzany przez lepkość) staje się znikomym. Ponieważ czynnikiem jest tu ciśnienie, więc opór oderwania wzrasta w prostym stosunku do kwadratów szybkości *ściśle*, nie zaś w przybliżeniu. Odpowiednio do tego *energia*, zużywana na pokonanie oporu oderwania, nie zatraci się odrazu w cieple, lecz *zachowaną zostanie w płynie w postaci kinetycznej*.

Na jeden szczegół, dotyczący *oporu*, należy zwrócić uwagę. Nieobojętną rzeczą są tu *wymiary* ciał, a zależność tę badano już dawniej (Stokes, Allen, Froude, zwłaszcza zaś Dines). Dziś w sprawie tej można powiedzieć co następuje:

a) Przedewszystkiem, gdy wymiary linjowe ciała nie przekraczają grubości warstwy wirowej (odpowiadającej danej szybkości i danej lepkości kinematycznej), wtedy *nie może być mowy o oderwaniu*, bez względu na kształt geometryczny ciała; *opór* więc będzie *wyłącznie oporem lepkości, proporcjonalnym do pierwszych potęg szybkości.*

b) Dla ciał *dostatecznie dużych*, a geometrycznie podobnych, zmiany oporu, zależne od wielkości, byłyby, *w wypadku oderwania, w przybliżeniu proporcjonalne do zmian w największym przekroju poprzecznym;* wskazują na to wyniki pomiarów (Eiffel, Getynga).

c) Ciała dostatecznie *małe*, a geometrycznie podobne, odczuwałyby *opór lepkości* tem silniej, im ich wymiary byłyby drobniejsze; zaś dopóki nie nastąpiłoby oderwanie warstwy wirowej, — opór, w zależności od wymiarów, wzrastałby *w przybliżeniu proporcjonalnie do wzrostu powierzchni;* jest to prawdopodobne, lecz doświadczalnie jeszcze nie sprawdzone.

d) W każdym zaś razie, to da się ogólnie powiedziedzieć, że ciało względnie *małe* liczyć się musi z *oporem lepkości*, zależnym od pierwszych potęg szybkości; ciało zaś dostatecznie *duże* może się liczyć, praktycznie, tylko *z oporem oderwania*, zależnym od kwadratów szybkości. Wynika stąd, że niezawsze można wyniki eksperymentów, dokonanych z małym modelem, przenosić na wypadki rzeczywiste w naturze lub technice — a doświadczenie zdaje się to potwierdzać zupełnie.

5. Podkreślę tu — bo to nam się przyda — *miejsce oderwania*.

Na oderwanie narażony bywa *wyłącznie tył* ciała, nigdy zaś jego *czoło*. Gwałtowne bowiem *zwolnienie* ruchu toczenia się wirów powierzchni (warunek oderwania) nastąpić może jedynie w miejscu, leżącem *za* największym przekrojem poprzecznym. Do części czołowej ciała linje prądowe potrafią zawsze dopasować się dokładnie (z wyjątkiem wypadku płyty ukośnej lub poprzecznej, w pewnych okolicznościach); a gdy przód jest *zanadto wklęsły*, wtedy nadmiar wklęsłości bywa zwyczajnie omijany przez linje prądowe, stając się *zatoką martwą*, utrzymującą się w swej stagnacji, nie wytwarzając wiru. Warstwa bowiem wirowa na samym przodzie dopiero się tam tworzy — tam dopiero jest jej początek.

6. W pewnych warunkach, nie dochodzi do wytworzenia obszaru oderwania, i zamiast układu wirów niestatecznych, wędrownych, otrzymuje się jeden *wir stateczny* (naogół w postaci obręczy wirowej), przytwierdzony na stałe do powierzchni przeszkody. Może on powstać z *tyłu* lub z *przodu* przeszkody.

a) *Wir stateczny tylny* zastępuje zwykłą smugę burzliwą, gdy zupełnemu oderwaniu przeszkadza bądź zbyt wielka lepkość kinematyczna płynu (przy danej szybkości i danych wymiarach), bądź zbyt małe wymiary linjowe (przy danej lepkości kinematycznej i danej szybkości), bądź zamała szybkość (przy danej lepkości kinematycznej i danych wymiarach linjowych). Ob. wyżej. Fig. 2.

b) *Wir stateczny przedni krawędziowy* tworzy się na bocznych ścianach ciał pryzmatycznych lub cylindrycznych z osią równoległą do kierunku ruchu, tuż za przedniemi krawędziami (które niekoniecznie mają być ostre, a mogą być zupełnie zaokrąglone). Linje prądowe tworzą wtedy „garb" zgoła miejscowy, odchylając się od powierzchni, na poziomie krawędzi przednich, tylko na pewnym kawałku, by wrócić do powierzchni zaraz za wirem statecznym. Oderwanie właściwe i wiry wędrowne zjawiają się wtedy za krawędziami tylnemi. Fig. 3.

Tworzy się tu wir stateczny, przytwierdzony do ciała, dlatego, że wirom niestatecznym, wędrownym, rozwinąć się przeszkadza obecność, za krawędziami przedniemi, ścian bocznych pryzmatu lub cylindra, co zabierają miejsce obszaru oderwania, nie pozwalając mu się rozwinąć. Ale gdy pryzmat lub cylinder jest dostatecznie krótki, to znaczy mało wyciągnięty w kierunku ruchu, oderwanie zupełne wraz z wirami wędrownemi nastąpi właśnie tu, za krawędziami przedniemi, a krawędzie tylne, znalazłszy się już w pasie oderwania, będą nieczynne. To samo będziemy mieli, gdy szybkość będzie bardzo wielka—zdolna „odczepić" od ścian i pociągnąć za prądem dążący do oderwania wir stateczny.

Ten wir stateczny przedni krawędziowy — dotychczas nienotowany — stwierdza się bardzo powszechnie:

1) Za węgłami ulic: wchodząc, podczas wiatru, w ulicę z placu otwartego, odczujemy, zaraz za krawędzią domu narożnego, wiatr dmący prosto w twarz, znacznie silniejszy od wiatru, który panuje na placu i który wiał nam w plecy: będzie to ów wir krawędziowy, po którego przejściu będziemy mieli znowu wiatr taki jak na placu, zrazu osłabiony (rozbieżność linij prądowych bezpośrednio za wirem), a potem wzmagający się stopniowo.

2) Z przodu u bocznych ścian filarów kamiennych mostu na rzece, za krawędziami pionowemi prawą i lewą, widać na powierzchni wody dwa dołki wirujące, płytkie i ledwie widoczne, gdy prąd jest słaby, potężne i głębokie, gdy prąd jest wartki — profile dwóch symetrycznych wirów pionowych, idących śrubą aż do dna, w którem napewno drążą pod filarem jamy podwodne.

3) Za krawędzią szczytową płaskowzgórza, spadającego stromem urwiskiem ku równinie niższej, skąd wieje wiatr ku płaskowzgórzu, musi tworzyć się wir poziomy, w postaci wału wirowego, kołującego w płaszczyznach pionowych. Gdy wiatr jest silny, wir taki może być niebezpieczny dla lotnika, jeżeli ten zbliży się do niego zanadto.

7. Po tem ogólnem zobrazowaniu morfologji ruchu dokoła przeszkody swobodnej, rozpatrzmy kilka najprostszych, elementarnych *wypadków szczególnych*, zaznaczając tylko znamiona najbardziej charakterystyczne.

a) *Cienka płyta prostopadła do prądu.*

Maksymalna krzywizna, więc maksymalna rozbieżność linij prądowych z przodu, i maksymalna ich zbieżność, przypadająca *za* krawędziami, w dość znacznej od nich odległości, gdzie linje prądowe znacznie się wypuklają nazewnątrz. Konsekwencje stąd wypływające łatwo jest przewidzieć.

Takaż płyta *styczna* do prądu. Wypadek osobliwy. Niemasz *obręczy wirowych*, jako składników warstwy wirowej. Są dwa układy, po dwuch stronach płyty, *wałków wirowych prostolinijnych*, prostopadłych do ruchu. Dotoczywszy się do *krawędzi tylnej*, wałki te odrywają się, naprzemian, to z jednej, to z drugiej strony, upakowywując się w łańcuszek Kármána w smudze bardzo cienkiej.

Takaż płyta *ukośna do prądu*. W profilu, jedna krawędź wysunięta wprzód, druga wtył. Zbieżność linij prądowych — więc przyśpieszenie ruchu — będzie silniejsze u krawędzi wysuniętej, niż u krawędzi cofniętej, a różnica ta wzmagać się będzie wraz ze wzostem kąta ukosu. Łatwo przewidzieć odpowiednie konsekwencje, dotyczące morfologji obszaru oderwania.

b) *Pryzmat* lub *walec*, z osią *w kierunku ruchu.*

Gdy dostatecznie *mało wydłużony* w kierunku ruchu — wtedy oderwanie nastąpi już *u przednich krawędzi.*

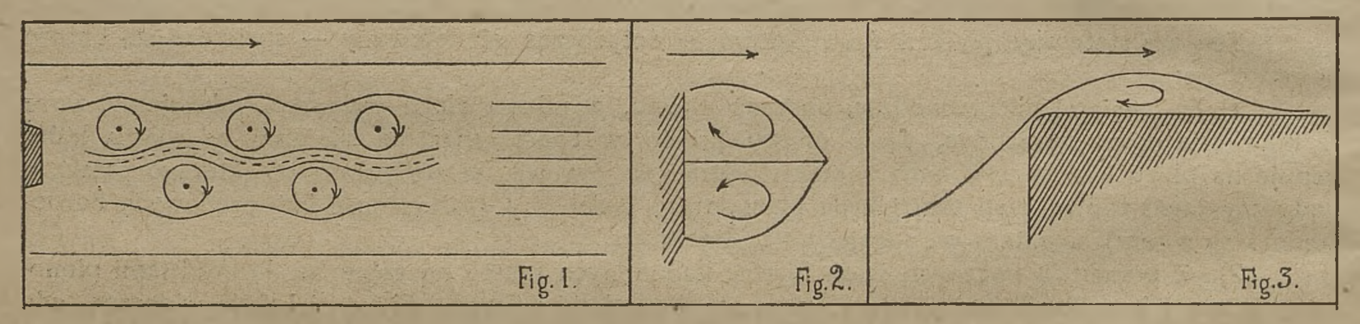
Gdy *dostatecznie wydłużony* w kierunku ruchu, wtedy za krawędziami przedniemi utworzy się, — jak wiemy, — *wir stateczny przedni krawędziowy,* w postaci obręczy, przytwierdzonej do samego ciała (fig. 3); *oderwanie* zaś nastąpi dopiero *za krawędziami tylnemi* (ob. wyżej punkt 6, b).

c) *Walce* z osią *poprzeczną* do ruchu i *kula*.

Wbrew twiedzeniu Lanchestera, dokładne wyznaczenia manometryczne Żukowskiego [1]) wykazały, że *na kuli* oderwanie warstwy wirowej następuje już prawie *na samym największym przekroju poprzecznym*, podczas gdy na *walcu* — w dość *pokaźnej odległości* za największym przekrojem poprzecznym. W związku z tem stwierdza się, że *smuga burzliwa* za kulą bez porównania bywa krótsza, niż za walcem.

d) Wreszcie — *grupy przeszkód elementarnych*.

Najprostsza kombinacja: *dwie płyty*, poprzeczne do ruchu, ułożone na jednej linji poprzecznej do ruchu, dostatecznie do siebie zbliżone. Przez *bramę* między płytami wrywa się *strumień prądu wzmożonego* („strumień interwalowy"), tem *silniejszy*, ceteris paribus, im brama *węższa*. Albo toruje sobie drogę między dwoma obszarami oderwania, a wtedy wylewa się za niemi *rozbieżnie*, przybierając szybkość *poniżej* normalnej szybkości prądu,—albo utyka po drodze, ginąc w wirach obszarów oderwania. *(D. c. n.)*.


Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.

BIULETYN METEOROLOGICZNY. — BULLETIN MÉTÉOROLOGIQUE.

O przebiegu pogody w m. kwietniu 1924 r.
Résumé climatologique du mois d'Avril 1924.

W pierwszych dniach miesiąca kwietnia 1924 r. Polska była pod wpływem niżu, zalegającego Europę południową. Panowała u nas wskutek tego pogoda chmurna i chłodna, choć bez znaczniejszych opadów. Około dnia 5 go nastąpiła pewna poprawa stanu pogody pod wpływem wyżu barometrycznego, powstałego nad morzem Czarnem, lecz z krótkotrwałem i niewielkiem zaledwie ociepleniem. W kilka dni jednak miejsce tego obszaru zajął znowu niż z mgłą, opadami (miejscami śnieg dość obfity) i wiatrami północnemi, a za nim nadciągnął szereg innych, które ustaliły na dłuższy czas panowanie pogody pochmurnej, dość wilgotnej i w dalszym ciągu chłodnej. Po krótkotrwałem wypogodzeniu w dniu 19-ym następne dni były szczególnie dżdżyste i wietrzne i tworzyły kilkodniowy okres typowej szarugi wiosennej. Od połowy trzeciej dziesięciodniówki kwietnia pogoda była nieco spokojniejsza i cieplejsza, lecz niemniej pochmurna. Drobne opady notowano niemal codziennie do końca miesiąca. W ciągu kwietnia było wogóle tylko kilka dni bez opadów (koniec pierwszej dziesięciodniówki); przez kilka dni we wschodniej części kraju (około 13 go) leżała też świeżo utworzona szata śnieżna, gruba do 30 cm. (Białowieża) i panowały silniejsze przymrozki. Wogóle zupełnie wolne od przymrozków były tylko kilka ostatnich dni miesiąca, gdyż dopiero w dniu 29-ym nastąpiło większe ocieplenie (zbyt niskie jednak jeszcze, jak na tę porę roku), które doprowadziło miejscami do burz z objawami elektrycznemi i obfitych deszczów. Naogół kwiecień tegoroczny był chłodny (temperatury najwyższe wyjątkowo tylko przekroczyły 10^0 C., a średnia miesięczna była przeciętnie prawie o 2^0 zbyt niska), a opady, dość częste, były rozłożone dość równomiernie pod względem wysokości bezwzględnej, gdyż wahały się w granicach od 30 do 75 mm. dla różnych dorzeczy. Procentowa ilość opadów była nieco zbyt niska w zachodniej, środkowej i południowo-zachodniej części kraju, natomiast norma wieloletnia opadu przekroczoną została blisko o 35% nad Bałtykiem i na Pomorzu, o kilkanaście procentów w dorzeczach prawych dopływów Wisły (oprócz Wieprza), a najbardziej w dorzeczu Dniestru (50% nadmiaru opadów przy 75 mm bezwzględnej wysokości opadu).

[1]) l. c. fig. 23, 68 i 69.

Temperatury średnie i skrajne w m. kwietniu 1924 r. w Polsce.
Températures moyennes et extrêmes en Pologne au mois d'Avril 1924.

Stacje	Temp. średn.	Max. (dn.)	Min. (dn.)	Stacje	Temp. średn.	Max. (dn.)	Min. (dn.)
Gdynia.	3.5	16.9 (16)	— 6.2 (13)	Chrzanów *). . . .	6.0	19.0 (15)	— 0.8 (5)
Nowy Port	4.0	17.4 (16)	— 3.0 (13)	Bielsko *).	6.6**)	17.9 (16)	— 1.7 (13)
Dźwierzno*). . . .	4.3**)	14.9 (16)	— 0.3 (4)	Hermanice	6.4	18.3 (16)	— 6.3 (1)
Bydgoszcz	5.0	18.7 (16)	— 3.7 (13)	Istebna *).	4.3	14.4 (25)	— 4.4 (13)
Toruń	5.5	14.3 (29)	— 3.3 (5 i 13)	Żywiec.	5.9	21.7 (26)	—10.3 (13)
Podgórz-Toruń . .	4.9	19.4 (16)	— 5.0 (5)	Rychwałd *)	5.6	18.4 (16)	— 4.2 (13)
Kruszwica	5.3	18.2 (16)	— 1.9 (13 i 14)	Wadowice *) . . .	6.5	18.0 (16)	— 2.8 (12)
Ostrowite	4.6	16.1 (16)	— 3.0 (13)	Kraków	6.7	18.6 (16)	— 8.1 (13)
Kisielnica	4 1	14 4 (9)	— 3.4 (4)	Rakowice	6 2	18 7 (16)	— 9.4 (13)
Białystok	4.6	14.0 (9)	— 5.6 (13)	Bohnia	7.0	22.1 (16)	— 6.4 (13)
Słojka	3.9	17.0 (29)	— 6.0 (1, 14 i 15)	Poronin *)	2.5	16.0 (26)	— 7.6 (6)
Płociczno	3.2	14.2 (17)	— 6.7 (1)	Zakopane	2.4	16.8 (26)	—13.8 (13)
Dzisna	2.2	12.7 (9)	— 3 0 (3)	Zazadnia *)	1.6	14.8 (25)	— 7 8 (1)
Wilno	3.3	13.8 (17)	— 5.6 (27)	Maniowy *)	5.1	19.6 (26)	— 4.5 (1)
Szejbakpole . . .	3.6	14.5 (17)	— 4.0 (27)	Krynica *).	3.5	14.9 (27)	— 3 4 (5)
Rohotna*)	3.2	14.2 (17)	— 3.4 (1)	Tylicz *)	4.8	17.2 (27)	— 5.8 (13)
Białowieża	4.0	14 9 (17)	— 8.1 (15)	Banica *)	4.6	15.6 (26)	— 3.6 (6)
Mitki	4.9	15.4 (17)	— 2.8 (12)	Świniarsko	6.6	18.0 (14)	— 0.8 (12)
Przegaliny	5.0	17.0 (16)	— 6.4 (13)	Tarnów	6.7	20.4 (16)	— 5 6 (13)
Kijany *)	5.1**)	16.1 (9)	— 3.9 (13)	Hebdów	5.9	22.9 (16)	— 7.2 (13)
Sobieszyn	5 2	15.0 (16)	— 5.0 (13)	Sielec	6.0	15 6 (25)	— 1 9 (13)
Puławy	5.6	17.2 (16)	— 5.5 (13)	Kielce	5.2	17.3 (16)	— 4.6 (13)
Radom	5.6	16.2 (16)	— 2.7 (1)	Baranów *)	6.1	14.8 (28)	— 2.0 (13)
Czersk	5.1	17.0 (16)	— 3.5 (15)	Głogów *)	6.2	17.8 (16)	— 4.6 (13)
Siennica	5.4**)	16.4 (8)	— 5 9 (12)	Sędziszów*). . . .	6.3	15 3 (9)	— 0.0 (12)
Wądołki Borowe . .	5.0	15.8 (16)	— 4.7 (5)	Brzyszczki*). . . .	6.3	14.3 (28)	— 0.5 (13)
Rembertów (A. K. D.)	5.7	18.6 (16)	— 4.5 (5)	Libusza	6.5	17.8 (16)	— 5.0 (13)
Warszawa (Mokotów)	5.6	16.8 (16)	— 2 1 (5)	Bukowsko*). . . .	5.6	16 0 (26)	— 3.0 (13)
Warszawa (St. Pomp)	5.7	16.8 (16)	— 2.2 (13)	Sianki*)	2.7	13.6 (16)	— 5.2 (13)
Marymont	5.6	16 6 (16)	— 3.5 (13)	Sanok*)	6.2	19.4 (27)	— 1.8 (6)
Mory	5.1	16.3 (16)	— 2.6 (13)	Medyka*).	6.6	17.4 (16)	— 1.2 (15)
Joniec *).	4.8	16.2 (16)	— 1.6 (13)	Dolne*)	6.5	15 8 (16)	0.2 (1)
Łowicz	5.3	16.1 (16)	— 0.0 (4)	Jarosław*)	6 9	15.4 (28)	— 1.0 (13)
Gołębiew.	5.4	17.7 (16)	— 2.4 (13)	Miłków*)	6.1	16.0 (30)	— 2.0 (5)
Skierniewice . . .	5.5	17.7 (16)	— 3.5 (13)	Tomaszów Lubelski	4.9	14.0 (30)	— 4 0 (1)
Końskie	5.9	18.2 (16)	— 1.5 (14)	Wojsławice *) . . .	5.5	14.4 (16)	0.0 (3)
Piotrków *)	5.3	14.4 (9)	— 0.2 (5, 12, 13, 18 i 23)	Wola Dobrostańska*)	5.5	16.2 (17)	— 3 2 (6)
				Lwów (Politechnka)	5.7	16.2 (16)	— 0.8 (23)
Łódź	5.5	19.4 (16)	— 3 5 (13)	Lwów (Lotnisko) . .	5.4	15.8 (17)	— 1.0 (6 i 13)
Brześć Kujawski . .	5.2	18.6 (16)	— 3.0 (1)	Lwów (Zielona) *) .	6.2	15.4 (30)	— 0.4 (3)
Ciechocinek. . . .	5.5	19.2 (16)	— 4.2 (13)	Orchowice *) . . .	5.4	15 0 (17 i 27)	— 0.3 (6)
Dobre	4.7	18.3 (16)	— 2.7 (13)	Nowe Sioło*) . . .	6.4	15.1 (29)	— 0.1 (7)
Włoszanowo . . .	4.5	18.2 (16)	— 2.4 (13)	Porohy *).	5.6	17.0 (16)	— 1.4 (6)
Biedrusko	5.1	18.5 (16)	— 3.4 (12)	Doużyniec *) . . .	3.1	18.2 (27)	— 7.0 (6)
Poznań (Ławica) . .	5.3	18.1 (16)	— 1.9 (8)	Kołomyja *). . . .	6.8	16.3 (29)	0.2 (7)
Bojanowo*)	6.7**)	18.3 (15)	— 0.5 (8)	Kiwerce*).	5.6	14.2 (8)	0.8 (3 i 13)
Kalisz	6.1	19.1 (16)	— 2.0 (13)	Białokrynica . . .	5.9	14.7 (17)	— 0.4 (5)
Sokolniki	5.6	18.5 (16)	— 2.3 (13)	Jazłowiec *). . . .	5.8	18.3 (1)	— 1.6 (6)
Olkusz	5.2	18.0 (16)	—11.7 (13)				

*) Maximum i minimum według spostrzeżeń terminowych.
**) Średnia miesięczna obliczona z 30 dni.

Wysokości opadów i liczby dni z opadem w m. kwietniu 1924 r.
Précipitations en mm et les nombres des jours avec précipitations au mois d'Avril 1924.

Stacje (pow.)	mm	Liczba dni	Stacje (pow.)	mm	Liczba dni	Stacje (pow.)	mm	Liczba dni
Dorzecze Wisły dolnej.			Gołotczyzna (ciechanowski).	36.0	13	Ciechocinek (nieszawski) .	37.1	10
			Brześć Kujawski (włocławski)	30.9	14	Toruń (toruński)	35 3	11
Strużewo (lipnowski) . . .	22.9	11	Olganowo „	32.4	12	Dźwierzno „	35.6	14
Grodkowo (płocki)	21.0	10	Dobre „Cukr." (nieszawski) .	25.0	13	Bydgoszcz II (bydgoski) .	30.0	15
Lelice „	32.8	12	Dobre „ .	26.3	12	Solec „ . .	24.5	9

Stacje (pow.)	mm	Liczba dni
Chełmno (chełmiński)	35.2	13
Trzebcz „	39.9	14
Grudziądz (grudziądzki)	41.6	12
Babki „	28.3	10
Wielka Klonia (tucholski)	24.8	11
Janowo (gniewski)	39.7	12
Ostrowite (rypiński)	23.8	10
Jabłonowo (brodnicki)	35.1	12
Kościerzyna (kościerski)	48.0	16
Wejherowo (wejherowo)	72.6	12
Dorzecze Bzury.		
Gleba (warszawski)	32.0	14
Pszczelin (błoński)	25.6	13
Chlewnia „	45.3	11
Skierniewice (skierniewicki)	20.4	13
Studzieniec „	34.3	11
Łowicz (łowicki)	14.6	9
Krośniewice (kutnowski)	40.7	9
Gołębiew „	39.8	13
Mieczysławów „	36.0	15
Łanięta „	40.1	14
Strzelce „	12.2	11
Leśmierz (łęczycki)	26.4	10
Zgierz (łódzki)	35.3	13
Dorzecze Wisły środkowej (str. lewa).		
Warszawa St. Pomp (warsz.)	32.6	12
Warszawa Filtry „	35.4	13
Kaskada (warszawski)	27.2	12
Ursynów „	26.6	9
Mory „	33.4	11
Grójec (grójecki)	22.3	10
Sielec „	22.6	13
Trzylatków „	37.5	8
Kośmin „	19.2	11
Czersk „	29.2	11
Wólka Kozodawska (grój.)	31.4	13
Drozdy (grójecki)	32.6	9
Radom (radomski)	32.8	15
Końskie (konecki)	30.4	15
Skarżysko (konecki)	44.5	11
Szydłowiec (konecki)	34.4	15
Słupia Stara (opatowski)	34.1	12
Mitków „	50.6	10
Iwaniska „	66.0	8
Denków „	40.7	14
Gierczyce „	32.1	12
Wąchock (iłżecki)	41.0	10
Kruków (sandomierski)	28.6	11
Piotrków (piotrkowski)	36.3	11
Bujny „	30.1	11
Uszczyn (piotrkowski)	30.4	10
Łęki Szlacheckie (piotrk.)	28.6	9
Garbatka (kozienicki)	28.2	11
Dorzecze Wisły środkowej (str. prawa).		
Praga-Warszawa (warszawski)	36.1	12
Golędzinów „	32.9	12
Marcelin „	24.7	5
Szamocin „	23.5	10
Siennica (mińsko-mazow.)	70.2	11
Garwolin (garwoliński)	55.4	18
Sobieszyn „	27.7	13
Brzozowa „	43.1	10
Puławy (puławski)	38.2	13
Gułów „	26.7	5
Kijany (lubartowski)	53.5	11
Krasienin „	48.0	8
Czemierniki „	45.7	8
Gościeradów (janowski)	49.6	9

Stacje (pow.)	mm	Liczba dni
Urzędów „	39.2	13
Czysta-Dębina (krasnostaw.)	33.9	18
Wojsławice (chełmski)	37.3	13
Dorzecze Wisły górnej.		
Przewłoka (sandomierski)	30.1	12
Gołoszyce (opatowski)	32.1	12
Zapusta „	44.9	14
Hebdów (miechowski)	17.6	5
Jakubowice „	34.1	13
Radziemice „	36.2	13
Skrzeszowice „	45.7	14
Stogniowice „	24.3	11
Szczepanowice „	26.5	13
Wierzbno „	57.5	8
Kielce (kielecki)	40.6	16
Św. Krzyż (kielecki)	46.1	18
Ameljówka „	55.8	13
Snochowice „	36.7	12
Bartków „	47.1	11
Słupia (włoszczowski)	37.4	14
Czarnca „	28.8	11
Jędrzejów (jędrzejowski)	43.9	16
Małogoszcz (jędrzejowski)	35.9	13
Sielec (pińczowski)	28.9	8
Szczeglin (stopnicki)	41.0	12
Kwasów „	35.3	12
Iłża (iłżecki)	40.2	9
Solec „	32.1	7
Olkusz (olkuski)	28.7	18
Ściborzyce „	37.5	10
Gołonóg (będziński)	8.8	7
Grodziec „	38.9	8
Sosnowiec „	28.6	13
Bielsko (bielski)	147.8	13
Skoczów (cieszyński)	33.0	14
Żywiec (żywiecki)	27.2	18
Kamesznica „	46.4	13
Rychwałd „	54.5	14
Sucha „	46.0	12
Zadziele „	34.4	13
Porąbka (bialski)	38.1	15
Kęty „	45.7	16
Wadowice II (wadowicki)	44.8	17
Wadowice IV „	47.8	—
Andrychów „	31.9	15
Grybów (grybowski)	50.7	11
Banica „	45.5	10
Szczucin (dąbrowski)	30.7	13
Szczucin (nadn. rzek)	32.6	7
Tarnów (tarnowski)	52.3	17
Głogów (rzeszowski)	40.8	16
Miłocin „	43.6	14
Budzów (myślenicki)	45.0	8
Osielec „	45.6	17
Raba Wyżna „	34.8	11
Chrzanów (chrzanowski)	29.5	12
Krzeszowice „	22.7	8
Kraków (krakowski)	46.2	13
Ujazd „	32.4	14
Dobczyce (wielicki)	18.7	12
Kamienica (limanowski)	10.7	5
Dobra „	50.9	15
Bochnia IV (bocheński)	36.6	7
Bochnia „	41.6	12
Lipnica Mur. „	52.5	12
Trzciana „	37.2	12
Grodkowice „	44.7	11
Uszew „	43.4	12
Zakliczyn (brzeski)	33.2	16
Jasło (jasielski)	65.6	16
Brzyszczki „	66.5	11
Ołpiny „	47.8	13
Krasna (krośnieński)	73.3	14
Tylawa „	88.6	17

Stacje (pow.)	mm	Liczba dni
Suchodół „	68.0	15
Świniarsko (nowosądecki)	26.2	8
Tęgoborze „	28.3	15
Tylicz „	49.9	14
Krynica „	62.4	14
Łabowa „	55.7	18
Barcice (starosądecki)	54.3	14
Wielopole Skrz. (ropczycki)	38.8	16
Sędziszów (ropczycki)	30.7	10
Majdan Kolb. (kolbuszowski)	36.4	12
Zakopane (nowotarski)	39.9	20
Zazadnia „	47.4	16
Krościenko „	50.4	15
Poronin „	38.1	15
Maniowy „	38.3	13
Izdebki (brzozowski)	71.1	15
Sanok (sanocki)	71.9	14
Nowotaniec „	82.8	14
Bukowsko „	41.5	9
Medyka (przemyski)	74.2	12
Niżankowice „	185.3	16
Jarosław (jarosławski)	65.9	15
Laszki „	56.7	14
Chłopice „	56.9	12
Radymno „	30.9	11
Majdan Sien. (jarosławski)	45.2	13
Przeworsk (przeworski)	51.1	20
Dolne „	55.9	12
Niżatyce „	55.2	15
Kańczuga „	61.8	16
Teodorówka (biłgorajski)	58.4	14
Józefów „	43.1	7
Wola „	32.4	11
Orchowice (mościcki)	86.6	18
Baranów (tarnobrzeski)	22.3	8
Grodzisko (łańcucki)	64.4	19
Łętownia (niski)	32.3	13
Cieszanów (cieszanowski)	93.0	14
Miłków „	57.2	13
Sianki (turczański)	133.2	14
Kurniki „	43.2	9
Bartne (gorlicki)	44.4	10
Lebiesza „	52.2	15
Dorzecze Narwi		
Joniec (płoński)	21.3	11
Konary (płoński)	41.8	8
Poświętne „	33.9	7
Serock „	34.2	9
Maków (makowski)	50.3	13
Krasnosielc „	30.5	6
Boguszyce (łomżyński)	42.2	12
Wądołki Borowe (łomżyński)	64.4	11
Wierzbowo „	43.3	12
Romany (kolneński)	35.5	9
Kisielnica „	32.0	8
Wojciechy (wys.-mazowiecki)	54.0	8
Krzyżewo „	50.2	15
Dobki „	41.9	14
Myszyniec (ostrołęcki)	14.1	9
Myszyniec Knob. „	24.0	10
Niechowo (szczuczyński)	42.2	8
Grajewo (szczuczyński)	38.8	10
Białystok II (białostocki)	45.1	11
Białystok IV „	56.5	11
Supraśl „	53.5	11
Słojka (sokólski)	65.0	11
Sokółka „	53.7	8
Bielsk (bielski)	41.3	8
Cichawola „	41.6	7
Dorzecze Bugu.		
Rybienko (pułtuski)	44.0	12
Janów Podl. (konstantynow.)	42.7	12
Czeberaki (konstantynowski)	44.2	12

Stacje (pow.)	mm.	Liczba dni
Przegaliny (radzyński)	32.0	11
Mikołajówka (bialski)	38.2	14
Piesza Wola. (włodawski)	40.6	15
Liw (węgrowski)	55.4	13
Chełm (chełmski)	39.2	14
Okszów „	41.7	13
Majdan-Górny (tomasz.)	51.0	12
Dołubów (bielski)	46 4	8
Nowosiółki (hrubieszowski)	45.9	16
Matcze „	43.2	15
Białowieża (białowieski)	69.2	12
Włodzimierz (włodzimierski)	54.5	14
Lwów Polit. (lwowski)	75.7	19
Lwów Zielona „	76.1	19
Burszczowice „	49.0	12
Dzibułki (żółkiewski)	41.4	9
Korczyn (sokalski)	65.6	12
Wojsławice „	60.6	12
Podhorce (złoczowski)	32.4	14
Dorzecze Odry.		
Cienin (słupecki)	20.1	10
Jabłonka „	26.3	10
Kazimierz „	28.7	11
Popielewo „	24.0	12
Kalisz II (kaliski)	36.2	10
Lisków „	42.2	16
Stawiszyn (kaliski)	35.9	14
Morawin „	36.6	14
Godziesze Wielkie (kaliski)	39.2	13
Złotniki Wielkie „	33.1	10
Gosławice (koniński)	26.9	7
Niemysłów (turecki)	38.4	14
Zdrojki „	47.9	15
Sucha Dolna (łęczycki)	24.6	10
Wola Łobudzka (sieradzni)	40.7	12
Sokolniki (wieluński)	23.3	14
Żytniów „	22.7	8
Dziadaki „	24.7	10
Cisów „	24.1	7
Widawa (łaski)	33.5	14
Piorunów „	32 8	12
Mogilno „	96.5	8
Popów (turecki)	31.8	13
Łódź (łódzki)	39.8	16
Strzelce Wielkie (radomsk.)	16.7	9
Stobiecko Szlach. „	28.8	15
Częstochowa IV (częstoch.)	52.5	12
Matusy Wielkie „	35.4	5
Kościelec „	22.4	13
Zawiercie (będziński)	34.8	11
Bolechowo (wschod.-poznań.)	35.3	10
Głuszyna „ „	41.5	10
Sobota (zachodn.) „	12.0	6
Janikowo (inowrocławski)	26 2	13
Kościan (kościański)	24.7	13
Zbietka (wagrowiecki)	37.0	?
Kołybki „	61.5	17
Szamotuły (szamotulski)	23.7	14

Stacje (pow.)	mm.	Liczba dni
Sękowo (szamotulski)	35.5	11
Słupy (szubiński)	31 8	12
Szubin (szubiński)	19.4	10
Kurcew (jarociński)	42.5	9
Krotoszyn (krotoszyński)	34.7	9
Rogożewo (rawicki)	26.2	11
Kruchowo (mogilnicki)	26.1	14
Kołaczkowo (witkowski)	50.2	8
Żydowo „	30.0	6
Białcz (śmigielski)	35.7	9
Gostyczyna (ostrowski)	49.6	22
Kruszwica (strzelnowski)	20.3	10
Czarny Sad (koźmiński)	26.0	6
Łubowice (gnieźnieński)	40.5	8
Gniezno St. „	28.7	9
Gniezno „	24.8	14
Braciszewo „	24.7	7
Włoszanowo (żniński)	30.5	16
Cieszyn IV (cieszyński)	43.1	15
Brenna „	57.5	10
Międzyświeć „	43.1	14
Istebna „	50.3	17
Hermanice „	49.5	18
Brzęczkowice (katowicki)	39.0	13
Woźniki (lubliniecki)	40.1	13
Świerklaniec (tarnogórski)	34 7	8
Rydułtowy Górne (rybnicki)	36.7	15
Rybnik „	31 5	14
Dorzecze Prutu.		
Worochta (nadworniański)	62.0	13
Kołomyja (kołomyjski)	54.0	15
Dorzecze Dniestru.		
Janów (gródecki)	103.8	17
Wola Dobrostańska (gródecki)	73.1	20
Wołcze (turczański)	86.7	19
Łomna „	13.0	7
Josefsberg (drohobycki)	39.4	9
Cebrów (tarnopolski)	65.8	15
Bolechów (doliniański)	71.9	14
Wełdzirz „	89.3	19
Suchodół „	11.6	3
Porohy (bohorodczański)	57.6	16
Sołotwina „	76.0	11
Niżniów (tłumacki)	53.5	12
Krasne (skałacki)	63.0	16
Jazłowiec (buczacki)	102 5	11
Bereźnica (stryjski)	71.3	18
Sokołów „	66.1	20
Nowo Sioło (żydaczowski)	53.3	15
Doużyniec (nadworniański)	89.1	17
Rafajłowa „	67.0	15
Synowódzko Wyżne (skolski)	88.1	19
Majampol (stanisławowski)	53 3	12
Trembowla (trembowelski)	57.8	15
Założce (zborowski)	51.1	16
Kołodruby (rudzki)	86.2	17
Rohatyń (rohatyński)	78.4	16

Stacje (pow.)	mm.	Liczba dni
Dorzecze Niemna.		
Józefatowo-Hańcza (august.)	53.8	10
Suwałki Sem. (suwalski)	20.7	7
Suwałki (Gimn.) „	26.5	11
Płocizno-Tartak „	28.2	12
Podżyliny „	40.4	9
Mosty (grodzieński)	46.8	12
Koniawa (lidzki)	34.4	16
Szejbakpole „	50 5	11
Koszelewo (nowogródzki)	50.9	13
Stołpce (stołpecki)	46.2	12
Słonim (słonimski)	49.8	11
Byteń „	59.5	13
Rohotna „	71.7	13
Kosów Poleski (kosowski)	53.2	11
Nieśwież (nieświeski)	67.6	11
Mir (nieświeski)	27.1	7
Szczekowszczyzna (wilejski)	38.6	14
Kołowicze „	14.8	15
Małe Hramicze „	37.9	15
Oszmiana (oszmiański)	29.5	9
Wilno (wileński)	46 8	14
Troki „	38.8	13
Cerkliszki (święciański)	32.4	11
Hoduciszki „	26.1	10
Dorzecze Dźwiny.		
Dzisna (dziśnieński)	56.2	14
Kality (brasławski)	46.4	9
Bałtyk.		
Nowy Port (gdański)	27.9	13
Karwja „	54 0	10
Oksywja „	36.5	12
Gdynia „	49.0	12
Dniepr.		
Połowkowicze (nieświeski)	53.3	13
Kobryń (kobryński)	49.7	10
Derewna (kobryński)	44.2	10
Poczapów „	24.0	9
Łuniniec (łuniniecki)	37.9	12
Wysock (stoliński)	32.1	12
Maliszewa Duża (stoliński)	46.2	16
Chinocze (sarneński)	40.4	11
Dąbrowica „	10.6	9
Dubeczno (kowelski)	55.0	14
Hołoby „	50.9	10
Kiwerce (łucki)	27.0	9
Kołki „	37.9	11
Równe (rówieński)	35.9	12
Derażne „	33.3	12
Aleksandrja „	19.0	6
Dubno (dubieński)	11.5	3
Lipszczyzna „	42.0	13
Krzemieniec (krzemieniecki)	50.1	16
Białokrynica „	28.8	9
Radziechów (radziechowski)	47.1	16

Korespondencja Państwowego Instytutu Meteorologicznego.
Correspondance de l'Institut Météorologique d'Etat.

Wędrówka ważki czteroplamej. (Migration de la Libellula quadrimaculata). Dnia 30 maja w Szczeglinie (dorzecze Wisła górna, powiat Stopnicki, województwo Kieleckie), odbywała się masowa wędrówka ważki czteroplamowej (Libellula quadrimaculata). Przelot rozpoczął się o godzinie 8 rano i trwał do godz. 10 m. 30. Przeleciała cała chmura owadów, pasem mniej więcej kilometrowej szerokości w kierunku południowego zachodu. Przelot odbywał się w pogodę słoneczną, cichą.

E. Zwolski.



Ciekawy spadek gradu. (Curieuse chute de grêle). D. 31 maja, około godz. 11 rano, od strony północo-zachodniej Krakowa ukazała się chmura o zabarwieniu różowawo niebieskim i bardzo szybko poczęła pokrywać niebo. O godz. 11 zaczęła się burza, która trwała mniej więcej pół godziny, z bardzo silnemi wyładowaniami elektrycznemi i z gradem bardzo obfitym. Grad padał 20 minut i pokrył ziemię nieprzerwaną warstwą, dochodzącą do 3 cm grubości. Pojedyncze gradzinki miały przeciętną wielkość i kształt przepołowionej, nieco spłaszczonej wiśni; z jednej strony były wypukłe, z drugiej nieco wklęsłe; kanty przy wklęśnięciu matowe, reszta przezroczysta (ob. fig. 16 w „Hist. natur. lodu" A. B. Dobrowolskiego, str. 101).

Grad był tak silny, że pościnał czubki gałązek drzew na plantach krakowskich, pokrywając ścieżki gęsto liśćmi, posiekał wysokie trawy i pokrzywy w zaułkach wawelskich. Wypogodzenie nastąpiło bardzo szybko, ale pomimo słońca i wysokiej temperatury (zwykły spadek temperatury po gradzie, tym razem nie nastąpił), proces topnienia gradu zakończył się dopiero po jakich 45 minutach. U Kopca Kościuszki nie było śladów gradu, zboża były zupełnie proste, z wyjątkiem kilku miejsc, gdzie zboże leżało doszczętnie zbite. Te miejscowe gniazda gradu miały promień mniej więcej dwumetrowy. W zasiekach podmiejskich wogóle większego zniszczenia nie było.

Elżbieta Gabszewiczówna.

Przegląd literatury. — Revue de la littérature.

Nautisk-Meteorologisk Aarbog (Nautical-Meteorological Annual), 1923. København 1924.

Obecne wydawnictwo stanowi dalszy ciąg analogicznych wydawnictw, poświęconych obserwacjom meteorologicznym morskim, które Duński Instytut Meteorologiczny ogłasza od roku 1880 w trzech serjach: Nautisk-Meteorologiske Jagttagelser 1880—1896, Nautisk-Meteorologisk Observationer 1897—1898 i Nautisk-Meteorologisk Aarbog 1899—1922. Ostatnie dwie serje są rozszerzone i nieco zmienione w porównaniu z pierwszą.

Materjał klimatologiczny i hydrologiczny, zawarty w nowym tomie, pochodzi z 12 duńskich pływających latarń morskich i 16 stacyj brzegowych. Oprócz obserwacyj z tych stacyj stałych, podany jest także obfity i niezmiernie cenny materjał zarówno z okrętów duńskich wojennych i handlowych, jak i z niektórych okrętów angielskich, norweskich i rosyjskich. Cały ten materjał został użyty na sporządzenie map synoptycznych stanu lodów w morzach arktycznych, map rozmieszczenia temperatury w powierzchniowych warstwach wody północnej części oceanu Atlantyckiego, codziennych map synoptycznych pogody dla tychże części oceanu Atlantyckiego, i wreszcie na pewne specjalne badania warunków atmosferycznych w północnym Atlantyku.

Nowy tom zawiera przedewszystkiem dane o stanie lodów na wodach duńskich w ciągu zimy 1922—1923. Wiadomości te opracowane są przez kapitana marynarki Speerschneidera. Przegląd ogólny uzupełnia 7 tablic, a mianowicie: 1) średnie temperatury powietrza na 7 duńskich stacjach podczas zimy 1922—1923, oraz odchylenia tych temperatur od normalnej; 2) okresy mroźne i dni mroźne w ciągu tejże zimy na tychże 7 stacjach; dla każdej stacji zestawione są dane według trzech rubryk: a) długość okresu mroźnego, b) liczba dni z temperaturą średnią niższą od 0^0 i c) ogólna suma chłodu, wyprowadzona z temperatury średniej okresu mroźnego i liczby dni w tym okresie; 3) temperatury średnie i słoność wody o godz. 8 rano podczas tejże zimy 1922—1923; temperatury

te są podane dekadami dla czterech miesięcy (grudzień—marzec) na 15 stacjach; 4) wykaz stacyj, prowadzących spostrzeżenia nad lodem; 5) dane o stanie lodu w warunkach nawigacji; w tablicy tej podane są dla każdej stacji liczby dni, podczas których zauważono lód o określonym charakterze i kiedy żegluga była w większym lub mniejszym stopniu utrudnioną. Pozatem podane są liczby dni z lodem, pierwsze i ostatnie obserwacje lodu oraz największe grubości lodu w centymetrach; 6) wykaz dni, w ciągu których latarnie były wskutek obecności lodu ściągnęte i potem znów postawione wraz z ogólną liczbą dni, w ciągu których latarnie wskutek tego nie były czynne, i porównanie tych danych z danemi z zim poprzednich, poczynając od r. 1879; i wreszcie 7) porównanie liczby dni z lodem podczas różnych zim ($^{1906}/_{07}$—$^{1922}/_{23}$) dla różnych obszarów wodnych.

Wobec tego, że Polska posiada obecnie swoje wybrzeże morskie, i w przyszłości trzeba będzie prowadzić spostrzeżenia na wodach przyległych, pożądanem byłoby uzgadniać te obserwacje z podobnemi obserwacjami Instytutów zachodnich. Dla tego też trzeba nieco dłużej zatrzymać się nad tablicą V, dotyczącą charakteru lodu i warunków żeglugi w związku ze stanem lodów.

Stan lodów był zaznaczony w sposób następujący:

a) Morze jest wolne od lodów.

b) Brash and pancake ice (Lös Sjap-og Kvadder-Is) — lód jak papka, jak kasza i lód jak „bliny".

Brash ice nazywa się masę, składającą się ze śniegu i wody lub bardzo małych kryształów lodu, które jeszcze nie są zrośnięte jedne z drugiemi.

Pancake ice nazywa się niewielkie, w ogóle okrągłe i płaskie płytki lodu, lub niewielkie kawałki; taki lód może utworzyć się na danem miejscu, ale może też być przyniesionym przez wiatr lub prąd; często pancake ice zjawia się jednocześnie z brash ice.

e) *Packed brash and pancake ice* (Sammenpakket Sjap-og Kvadder-Is) nazywa się powyższe dwie postaci lodu, gdy są zgęszczone w mętną masę, względnie zbitą, znacznej grubości, pod wpływem wiatru, prądu lub jakiejkolwiek przeszkody.

c) *Open ice (Spredt Driv-Is)* — właściwy lód — przedstawia ruch płaskich płyt (ice flakes) lub pagórków lodowych (hummok ice), rozsianych po wodzie na znaczniejszych przestrzeniach.

k) *Drift ice (Driv-Is)*—lód podobny do poprzedniego przedstawia ruch płaskich płyt lub pagórków lodowych, rozsianych po wodzie na mniejszych przestrzeniach.

f) *Heavy drift ice (Svaer Driv-Is)* — lód podobny do poprzedniego: ciężkie płyty lodowe lub pagórki, płynące gęstą, nieprzerwaną masą.

i) *Pack (Pak-Is)* — nagromadzenie lodu: ciężkie płyty lodowe, zbite w spójne masy przez wiatr, prąd lub, co zdarza się najczęściej, naskutek zwężenia łożyska.

h) *Screw ice (Skrue-Is)* oznacza ruch nieprzerwanego pola lodu, podczas którego ciężkie płyty naciskają jedne na drugie lub na brzeg. Gdy takie pole lodu stanie bez ruchu, będzie to właśnie pack-ice.

d) *Thin fixed ice (Tynd Fast-Is):* spójny lód cienki, nieruchomy, zwykle przymarzły do lądu.

g) *Heavy fixed ice (Svaer Fast-Is):* spójny lód gruby, nieruchomy, zwykle przymarzły do lądu.

Warunki żeglugi były notowane w taki sposób:

n) odbywa się bez przeszkód;

o) jest utrudniona dla żaglowców;

p) wogóle utrudniona; bez pomocy holowników niemożliwa dla żaglowców;

q) przerwana dla żaglowców;

r) możliwa tylko dla mocnych statków parowych;

s) niemożliwa bez pomocy lodołomów;

t) zupełnie przerwana;

u) w cieśninach odbywa się przy pomocy lodołomów.

Następny rozdział rozpatruje stan lodów w morzach arktycznych w r. 1923. Dokładne i szczegółowe dane o stanie obszarów podbiegunowych mają znaczenie nie tylko praktyczne, t. j. w stosunku do wyjaśnienia warunków nawigacji w morzach arktycznych, lecz i teoretyczne, — dla badania ogólnych warunków fizycznych kuli ziemskiej: dla dalszego postępu geografji, meteorologji, hidrografji i biologji. Coroczne ogłaszanie wiadomości o stanie lodów na obszarze podbiegunowym polecone zostało Duńskiemu Instytutowi Meteorologicznemu przez Międzynarodowy Zjazd Geograficzny w Berlinie w r. 1899, gdzie jednogłośnie przyjęto następującą uchwałę:

„Uznając wielkie naukowe i praktyczne znaczenie wiadomości o corocznem rozkładzie, charakterze i ilości lodu pochodzenia podbiegunowego, Zjazd zwraca się z usilnem wezwaniem do instytutów hydrograficznych i meteorologicznych tych państw, których okręty pływają po morzach, gdzie napotyka się lód podbiegunowy, o zbieranie na podstawie międzynarodowego współpracownictwa możliwie wyczerpujących wiadomości o lodzie, i o przesyłanie wszystkich tych danych do jednego centralnego Instytutu — ażeby cały ten materjał mógł otrzymać opracowanie jednolite. Rozpatrzywszy istniejące już w tym kierunku prace, Zjazd oświadcza, że najlepiej, jako centralny Instytut dla zbierania i opracowania wiadomości, dotyczących stanu lodów na morzach arktycznych, nadawał by się Instytut Duński w Kopenhadze, — i uprasza inne Instytuty, ażeby zwróciły się do kapitanów statków wojennych i handlowych o komunikowanie danych o napotykanym lodzie, i ażeby dostarczyły statkom instrukcyj, które będą rozesłane do tych Instytutów przez Duński Instytut Meteorologiczny".

By móc wykonać przyjęty na siebie obowiązek podawania najdokładniejszych wiadomości o stanie lodów na morzach arktycznych, Duński Instytut Meteorologiczny ze swojej strony zwraca się z usilną prośbą do osób, pływających na tych morzach, zwłaszcza do kapitanów statków, o zbieranie wszelkich danych o lodzie i o przesłanie takowych do Instytutu.

Rozdział „O stanie lodów na morzach arktycznych w r. 1923", umieszczony w tym tomie, został ułożony na podstawie danych, otrzymanych od Zarządu kolonij w Grenlandji, od Instytutu Meteorologicznego w Norwegji, od Meteorological Office w Londynie, od Departamentu Hydrograficznego w Petersburgu, od Hydrografic Office w Waszyngtonie, od Branch Hydrografic Office w San Francisco, od Geofizycznego Instytutu w Tromsö i od całego szeregu osób.

W rozdziale są podane ogólne wyciągi i szczegółowe wykazy stanu wód, otaczających Nową Ziemię i Spitzbergen, na morzu Barentsa, na morzach Białem i Grenlandskiem, w cieśninie Duńskiej i wodach omywających Islandję, w północnych obszarach Atlantyku i w pobliżu Labradoru, w cieśninie Davisa, w zatoce Baffina, w zatoce Smitha, w cieśninie Hudsona i koło wysp, położonych nad północ od Kanady, wreszcie na morzach Beringa, Beauforta i Podbiegunowem.

Do rozdziału dodany został szereg map (od kwietnia do sierpnia), na których poglądowo są przedstawione granice rozmieszczenia lodu w morzach podbiegunowych, jak również jego charakter.

Pozatem w nowym tomie są podane miesięczne mapy synoptyczne rozkładu temperatury w górnych warstwach wody w Atlantyku na północ od 50^0 szerokości północnej wraz ze średniemi izotermami, i wreszcie codzienne spostrzeżenia meteorologiczne morskie, dokonane na 12 latarniach pływających i 16 stacjach brzegowych. Spostrzeżenia na latarniach pływających były prowadzone 6 razy na dobę. Te spostrzeżenia, charakteru częściowo klimatologicznego, częściowo hydrologicznego, dotyczą szybkości i kierunku wiatru, szybkości i kierunku prądów morskich, zachmurzenia, stanu pogody i temperatury powietrza. Oprócz tego o godz. 8 rano były dokonywane pomiary temperatury i słoności (w $^0/_0$) wody na głębokości 0, 5, 10, 15, 20 i 30 metrów. Słoność wody wyznaczała się za pomocą zwykłych szklanych areometrów, obliczenia zaś wykonywały się na podstawie tablic Marcina Knudsena. W uwagach zaznaczone są: postać opadów i zmiany w prądach. Na stacjach, położonych na brzegu, o godz. 8 zrana robiono pomiary temperatury i słoności wody tylko na powierzchni. W końcu tomu są podane przeciętne z obserwacyj.

Podkreślić wypada niezwykłą szybkość w opracowaniu i wydaniu spostrzeżeń. Ku początkowi wiosny 1924 r. został wydany drukiem cały materjał, dotyczący 1923 roku. Książka ślicznie wydana, w dwóch językach (duńskim i angielskim), na dobrym papierze, wyraźnym drukiem.

W. Niebrzydowski.

Bibljografja. — Bibliographie.

Nowe książki i wydawnictwa perjodyczne, które weszły do bibljoteki P. I. M. w maju 1924 r.

Wydawnictwa perjodyczne.

Rocznik astronomiczny Obserwatorjum Krakowskiego na 1924 rok. Tom III, Kraków 1924.
Czasopismo geograficzne. Tom II, zeszyt 4, Łódź 1924.

Rocznik hydrograficzny 1913, 1916, 1917, 1918, 1922 — dorzecze Wisły; 1921 — dorzecze Dniestru; 1922 — dorzecze Odry.
Wiadomości statystyczne Głównego Urzędu Statystycznego 1924, №№ 8, 9 i 10.
Orle loty 1924, № 2.
Polski przegląd kartograficzny. Grudzień 1923, № 4; marzec 1924, № 5.
Gazeta Cukrownicza 1924, №№ 15/16, 17/18.
Gazeta Rolnicza 1924, №№ 18, 19, 20, 21.
Mésíční zpráva hydrologická. Bulletin hydrologique mensuel. Praha I. 1924, № 1.
Wetterbericht der Deutschen Seewarte 1924, 1—15 V.
Das Wetter 1924, № 1/2 Januar—Februar.
Meteorologische Zeitschrift Heft 5, Mai 1924.
Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie 1924, Heft V.
Einführung in die theoretische Physik, von Dr. Clemens Schaefer. Band I. Berlin 1922.
Jahrbuch des hydrographischen Zentralbureaus. Wien 1912, № 11. Das Odergebiet in Mähren und Schlesien; № 12—Das Weischel-Gebiet; № 13 — Das Dniestr und Dniepr-Gebiet.
Revue générale des Sciences pures et appliquées 1924, № 7—15 IV, № 8—30 IV, № 9—15 V.
Bulletin de l'Observatoire de Lyon 1922, № 11, 1923 № 8.
Bulletin quotidien des renseignements de l'Office National Météor. de France 1924, №№ 225—238.
Bulletin quotidien d'études de l'Office Nation. Météor. de France 1924, №№ 224—237.
Annuaire de l'Institut Physique du Globe 1922, 2 e partie. Sismologie 1923.
Revue internationale de renseignements agricoles. 1924 Janvier—Mars, Rome.
Résumé mensuel des observations des stations météorologique de Grèce. Iuin 1923.
Buletinul lunar. Institutul météorologique central al Romaniei. 1923, №№ 7—12.
Bollettino bimensuale. Vol. XLIV, № 4—6, Aprile—Ginguo 1924, Mondovi.
Bollettino mensile. Dicembre 1923. Ufficio idrografico del magistrato alle Acque—Venezia.
Bollettino giornaliero dell Ufficio idrografico del R. Magistrato alle Acque Venezia 13—16 V. 1924.
Maud-Expeditionens videnskabelige arbeide 1918—1919 og nogen av dets resultater H. U. Sverdrup. 1922.
Det Norske Meteorologiske Institut. Copy of working chart 1—16 V. 1924.
Årsbok 5, 1923. I. Månadsöversikt över väderlek och vattentillgång. Stockholm 1924.
Regenwaarnemingen in Nederlandsch — Indie, 1922.
Weekly weather report of the Meteorological Office. London 1924, №№ 17, 18, 19, 20.
Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. London, April 1924, Vol. 50, № 210.
Monthly weather report of the Meteorological Office. 1924, Vol. 41, № 3.
The monthly weather report for the year 1922. London, 1924. M. O. 250 b.
Daily Weather Report of the Meteorological Office. International section. London 1924, 1—30 April.
Daily Weather Report of the Meteorological Office. Britisch section. London 1924, 1—30 April.
Daily Weather Report of the Meteorological Office. Upper Air Supplement. London 1924, 1—30 April.
Manual of Neteorology. Part IV. The relation of the wind to the distribution of barometrie. By Sir N. Shaw. Cambridge 1919.
Bulletin of the American Meteorological Society. 1924 April.
A preliminary abstract of statistict of common carriers for the year ended december 31, 1922. Washington.
Weather crops and markets published weekly by the U. S. Department of Agriculture. 1923 Vol. 4, №№ 6—16.
Climatological data for the United States by sections. Vol. X, №№ 3, 4, 5. 1923.
Monthly Weather Review 1923 Vol. 51, №№ 5, 6, 7; Vol. 52, № 2, 1924. Washington.
Monthly Weather Review. Supplement № 23. Washington 1923.
Daily weather map. U. S. Department of Agriculture, Weather Bureau. Second Edition 1—30. XI, 1—31 XII. 1923.
The Memoirs of the Imperial Marine Observatory. Kobe, Japon. Vol. I, № 3.

Książki.

J. Rouch. *L'atmosphère et la prévision du temps.* Paris 1923.



Tłoczono w Drukarni Państwowej (Miodowa 22). — № 24910. 20-VI 24. 400.

Dodatek do Wiadomości Meteorologicznych, wyd. przez Państwowy Instytut Meteorologiczny, Nr. 5 i 6, 1924.
Supplément à la Revue Météorologique de l'Institut Météorologique d'Etat à Varsovie, Nr. 5 et 6, 1924.

ANTONI BOLESŁAW DOBROWOLSKI.

Zagadnienie ruchu powietrza i wody po nierównościach gruntu.

(Zagadnienie zasp i wydm, namulisk i mielizn; zagadnienia wiatru halnego, chmur górskich i linji śnieżnej).

Streszczenie artykułu w Wiadomościach Meteorologicznych, Nr. 5 i 6, Warszawa 1924.

Problème du mouvement de l'air et de l'eau sur des accidents du sol.

(Problème des dunes et des bancs de sable; problème du föhn, des nuages de montagnes et de la ligne de neige).

Résumé de l'article inséré dans la Revue Météorologique, Nr. 5 et 6, Varsovie 1924.

Wydane z zasiłku Wydziału Nauki Ministerstwa Wyznań Religijnych i Oświecenia Publicznego.

WARSZAWA 1924 VARSOVIE

Drukarnia P. K. O. w Warszawie.

ANTONI BOLESŁAW DOBROWOLSKI.

Problème du mouvement de l'air et de l'eau sur des accidents du sol.

(Problème des dunes et des bancs de sable; problèmes du föhn, des nuages de montagnes et de la ligne de neige).

Résumé de l'article inséré dans la Revue Météorologique, Nr. 5 et 6, Varsovie 1924.

Il y a un nombre de phénomènes terrestres, importants et très répandus, lesquels sont liés au mouvement de l'eau, mais surtout au mouvement de l'air, sur des accidents du sol. Ce sont, dans le domaine d'hydrologie, les bancs de sable fixes, produits par des accidents du fond, de même que les bancs errants, ceux-ci devenant eux-mêmes, au moment même de leur apparition, des obstacles s'opposant au courant. Ce sont, dans le domaine de météorologie et de géographie physique, tout d'abord les dunes de sable et de neige, „forcées“ autant que „libres“, homologues de bancs de sable fixes et de bancs de sable errants; ensuite, la circulation de l'air dans les montagnes, et tout particulièrement, les phénomènes du föhn et les nuages de montagnes, fixes et errants; enfin, les variations locales de la ligne de neige, importantes surtout dans les pays polaires et subpolaires où la persistance ou la disparition de la neige d'été paraît dépendre essentiellement des phénomènes locaux d'accumulation ou de déflation, ceux-ci dépendant à leur tour du rélief du terrain.

Pour expliquer tous ces phénomènes, il faut, *tout d'abord*, résoudre le problème d'hydrodynamique suivant: *étant donné un obstacle (ou un groupe d'obstacles) lié à un support (p. ex. à un plan solide), déterminer la forme du mouvement du fluide (la déformation du courant) autour de cet obstacle.*

Or ce problème n'a pas même été posé par l'hydrodynamique. Certains géographes s'en étaient occupés pour expliquer la formation des dunes, et au moment actuel, on étudie, dans les sphères militaires, l'influence des accidents du sol sur le vent, en vue de la guerre à gaz, en même temps que dans le monde d'aéronautes on tache de calculer la hauteur jusqu'à laquelle s'étend la perturbation causée par des montagnes. Mais ce ne sont là que de purs tâtonnements empiriques.

C'est qu'un *autre* problème intéressait les savants autant que les praticiens: problème du mouvement d'un fluide autour d'un obstacle *libre* (non lié à un support), autrement dit, problème du mouvement d'un corps au sein d'un fluide. Il s'agissait là de projectils, d'avions, de sousmarins.

La solution de cet autre problème se trouve déjà bien avancée, au point de vue théorique autant qu' au point de vue expérimental, surtout depuis que les travaux de Prandtl et de Joukowski viennent d'établir, pour les fluides réels (visqueux), la notion de la couche superficielle (couche tourbillonnaire) et celle du décollement; seulement, comme on s'intéressait principalement, sinon exclusivement, de la *résistance*, le côté morphologique de la question (forme du mouvement—distribution des directions et des vitesses autour de l'obstacle) restait plutôt négligé.

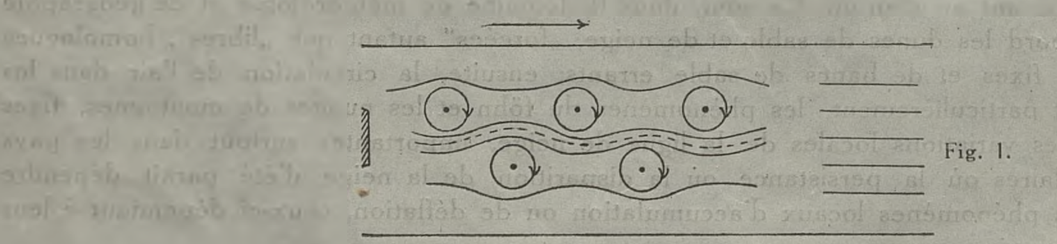
Or, avant d'aborder le problème qui nous occupe ici, il est nécessaire de nous rendre compte de ce qu'on sait, à l'heure actuelle, d'essentiel sur la forme du mouvement dans le cas d'un obstacle libre. C'est ce qui n'est pas facile: d'un côté, les résultats, dispersés dans des publications diverses, n'ont pas encore été l'objet d'un exposé synthétique; d'un autre côté, il reste encore plus d'une conclusion importante à tirer, plus d'une lacune essentielle à combler.

A. **Obstacles libres (non liés à un support).**

Pour classer les formes du mouvement des fluides réels (visqueux) autour des obstacles libres, l'auteur croit possible de distinguer, *pour une forme donnée de l'obstacle,* deux cas extrêmes liés entre eux par une chaîne de cas intermédiaires (zone de passage).

1) *Au-dessous* d'une cartaine valeur du nombre de Reynolds $\left(\frac{va}{\nu}\right)$, la physionomie du mouvement sera dominée par la *viscosité.* Il n'y aura pas de couche tourbillonnaire bien individualisée; il n'y aura donc ni décollement avec des tourbillons errants (à mouvement non permanent), ni même tourbillons fixes (à mouvement permanent), quelle que soit la forme de l'obstacle (courbure de son contour général). La résistance, purement de viscosité (résistance tangentielle), sera proportionelle à la vitesse. Ce cas, jusqu'à présent encore purement théorique, et ne se rencontrant presque pas dans la nature, ne nous intéresse pas ici.

2) *Au-dessus* d'une cartaine valeur du nombre de Reynolds, nous avons, dans le cas d'une courbure suffisamment forte (incompatible avec un système continu de lignes de courant), un décollement complet, c. à d. une traînée turbulente derrière l'obstacle („sillage"), composée de *tourbillans errants* à mouvement non permanent (fig. 1).


Fig. 1.

Ce cas, probablement le plus ordinaire, sera caractérisé: 1) par une mince couche tourbillonnaire, à tourbillons déliés roulant à la surface, couche que l'on peut supposer délimitée complètement du reste du fluide, et dont l'épaisseur est inversement proportionelle à la vitesse; 2) par une résistance „de décollement" (résistance dynamique), proportionelle exactement aux carrés des vitesses. Si la courbure n'est pas suffisamment forte, c. à d. si le contour du corps est compatible avec un système continu de lignes de courant („surface de courant", „corps de courant"), il n'y aura pas de décollement, et la résistance (tangentielle) sera proportionelle, mais seulement d'une façon approximative, aux carrés des vitesses.

3) Entre ces deux formes du mouvement extrêmes — entre ces deux valeurs „critiques", inférieure et supérieure, du nombre de Reynolds — il existe une large zone de transition, encore très mal étudiée: formes du mouvement intermédiaires. Exemple: un tourbillon fixe (à mouvement permanent) en arrière de l'obstacle, remplaçant le „sillage" de tourbillons errants (fig. 2).

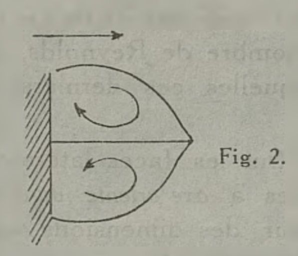


Fig. 2.

Cette classification des formes du mouvement ne vaut, chaque fois, que *pour une forme donnée de l'obstacle.* Les valeurs „critiques", surtout la supérieure, du nombre de Reynolds [1]), varient avec la *forme* du corps, et il est difficile d'exprimer cette dépendance d'une façon générale, et cela non seulement au point de vue quantitatif, mais même au point de vue qualitatif. Ainsi, une forte courbure du contour général facilite le décollement complet: celui-ci apparaît, dans ce cas, par une valeur du nombre de Reynolds plus basse que dans le cas d'une courbure plus faible, et la présence d'une arête tranchante (courbure maximum) au niveau de la plus grande section transversale de l'obstacle est la condition la plus favorable pour une apparition de tourbillons errants.

C'est justement le cas de tourbillons errants qui nous intéresse ici le plus. Dans mon „Histoire naturelle de la glace" [2]) j'en ai donné une description succinte. J'insiste ici sur les points suivants:

1) La *cause directe du décollement* de la couche tourbillonnaire et de la transformation des tourbillons roulant à la surface de l'obstacle en des tourbillons libres errants, réside dans une *diminution locale, brusque, de la vitesse.* Ordinairement, cette diminution de la vitesse est due à une courbure trop forte du contour général de l'obstacle; mais elle peut être provoquée aussi par d'autres circonstances. (Voir, plus bas, B, I, 1).

2) Il en résulte que c'est *en arrière* de la plus grande section transversale qu'apparaît le décollement, et que le front (jusqu'à la plus grande section transversale) n'est pas exposé au décollement, quelle que soit la forme de ce front [3]).

Dans le cas d'un front *concave,* on prévoit que les lignes de courant passeront tout simplement à côté de la concavité laquelle formera alors un *golfe mort.*

3) Le décollement peut se faire non seulement sous forme de tourbillons isolés (un par un), mais encore *en paquets de plusieurs tourbillons.* Les tourbillons errants peuvent donc apparaître simples ou *composés* (voir B, I, 2, b).

4) La *forme des tourbillons errants* est celle du contour de la plus grande section transversale de l'obstacle; en général, ce seront donc des *tourbillons annulaires.* Dans le cas d'une mince plaque tangente ou d'un cylindre délié transversal, un anneau-tourbillon se réduira, pratiquement, à une paire de rouleaux parallèles.

---

[1]) Pour a (dimensions linéaires) et ν (viscosité cinématique) constants, ce serait donc „vitesse critique".

[2]) A. B. Dobrowolski, Historja naturalna lodu (Histoire naturelle de la glace), 8-o, pp. 940+XXVI, avec 340 figures. Varsovie 1923. Chap. XII (théorie des dunes).

[3]) Cependant, des expériences faites avec des plaques obliques et transversales, paraissent montrer que dans certaines circonstances, connues encore insuffisamment, le front de ces plaques peut devenir siège d'un *tourbillon fixe.*

5) Il y a des cas d'un décollement incomplet apparaissant sous forme de *tourbillons fixes:*

a) *Tourbillon fixe postérieur.* En arrière de l'obstacle, dans les cas où, pour un fluide donné (pour une valeur de ν donnée), et pour une forme donnée de l'obstacle, les dimensions linéaires (*a*) de l'obstacle ou la vitesse (*v*) sont insuffisantes, on a, au lieu d'une traînée de tourbillons errants, un *tourbillon fixe postérieur.*

Il serait important de fixer, par des expériences appropriées, pour différentes formes d'obstacles, les valeurs limites du nombre de Reynolds, au-dessus desquelles on aurait des tourbillons errants, et au-dessous desquelles ces derniers céderaient la place à un tourbillon fixe postérieur.

b) *„Tourbillon fixe latéral"*. Sur les faces latérales des obstacles de forme prismatique ou cylindrique (cylindres ou prismes à *axe orienté dans le sens du mouvement*), on aura toujours, pour une vitesse appropriée et pour des dimensions appropriées, un tourbillon fixe latéral se développant *derrière les arêtes frontales* (fig. 3).

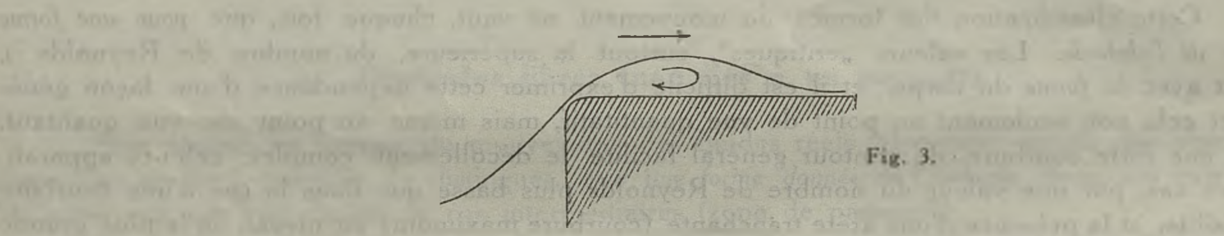


Fig. 3.

Ce tourbillon (qui n'a pas été signalé jusqu' ici) [1]) n'apparaîtra pas: 1) si le courant est trop faible (bien qu'il puisse être suffisant pour produire les tourbillons errants derrière les arêtes *postérieures*); 2) si l'obstacle (cylindre ou prisme) est trop peu allongé et le courant suffisamment fort (alors le décollement complet avec tourbillons errants apparaîtra derrière les arêtes *antérieures,* et les arêtes postérieures resteront inactives).

Il serait important de fixer, par des expériences appropriées, ces valeurs limites de la longueur de l'obstacle (pour différentes vitesses; pour différentes largeurs ou épaisseurs) et de la vitesse (pour différentes longueurs; pour différentes largeurs ou épaisseurs).

6) *Groupe d'obstacles* suffisamment rapprochés (le cas le plus simple: deux plaques transversales alignées transversalement). On prévoit l'augmentation locale de la vitesse entre deux obstacles suffisamment rapprochés, de même que la structure de ce *„courant d'intervalle"*.

Maintenant nous pouvons passer au problème qui nous intéresse ici: au problème du mouvement du fluide autour d'un obstacle, lorsque celui-ci se trouve lié à un support.

B. Obstacle lié à un support (p. ex. à un plan solide parallèle à la direction du mouvement).

La présence d'un support change les conditions: la couche tourbillonnaire couvrant la surface de l'obstacle apparaît liée à la couche tourbillonnaire couvrant la surface du support; d'ailleurs, la simple présence d'un support ne peut pas rester sans influence sur la forme du mouvement du fluide au voisinage de l'obstacle. On prévoit donc que celle-ci sera nécessairement différente de la forme du mouvement prévue pour le cas d'un obstacle libre. Pour l'étudier, il faudrait commencer par une série d'expériences tout-à-fait analogues à celles que l'on exécute pour étudier la forme du mouvement autour d'un obstacle libre. Pour une orientation prélimi-

---

[1]) Dans le dernier fascicule des travaux du laboratoire de Göttingue, je trouve une reproduction photographique du profil du mouvement du fluide autour d'un cylindre à axe longitudinal, où le profil du tourbillon fixe latéral apparaît assez nettement.

naire, il suffirait donc d'observer l'image (profil) du mouvement, dessinée p. ex. par la fumée dans un vent artificiel, ou par la poudre de Lycopode à la surface d'un liquide; tandisque pour une étude exacte du parcours des lignes de courant, on pourrait se servir de moulinets (pour tâtonner des axes des tourbillons) et du procédé de Joukowski (petits pavillons de coton, dont chaque suivant serait mis dans une direction indiquée par le précédent, à une certaine distance de celui-ci).

Des circonstances n'ayant pas permis à l'auteur d'exécuter de telles expériences, il a été réduit à se servir d'une méthode indirecte. Il essayait d'établir *a priori* les caractères essentiels de la morphologie du courant autour des obstacles liés à un support, en se basant sur les notions de la couche tourbillonnaire et du décollement. Pour vérifier ces déductions, il s'en est servi pour construire une théorie des dunes „forcées" (dunes par obstacles), de même qu'une théorie des nuages de montagnes, fixes et errants, et il a comparé les prévisions de ces théories avec les faits observés. [1])

Une tendance de produire des tourbillons fixes et de fixer les tourbillons errants, voilà le trait caractéristique le plus général du cas dont il s'agit ici.

Les exemples les plus simples seront présentés par un courant parallèle au plan du support et par des obstacles à faces planes parallèles et perpendiculaires au plan du support.

Ces obstacles pourront être „positifs" (élévations, objets se dressant au-dessus du niveau du support) ou „négatifs" (chutes, excavations).

I. Obstacles „positifs".

1) *Espace frontal.* Un courant parallèle au plan du support rencontre une paroi se dressant perpendiculairement à ce courant. A l'approche de cette paroi, le mouvement des tourbillons roulant à la surface du support (couche tourbillonnaire) subira un *ralentissement* plus ou moins fort (divergence plus ou moins forte des lignes de courant avant que celles-ci se mettent à converger vers les bords de la paroi). Or, un ralentissement suffisant amène—comme nous l'avons souligné plus haut — une tendance de décollement. Mais la présence d'un support et d'une paroi empêche cette tendance de se réaliser complètement, et au lieu d'une chaîne de tourbillons errants, on aura un tourbillon fixe, emprisonné dans l'espace formé, d'un côté, par l'angle dièdre entre le support et la paroi, d'un autre, par une enveloppe de lignes de courant s'appuyant sur les bords de la paroi.

On prévoit donc, devant le front d'un obstacle „positif", un *tourbillon fixe frontal,* à condition que la face frontale soit suffisamment abrupte.

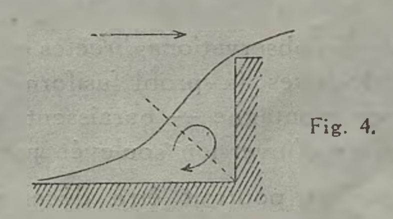


Fig. 4.

En supposant le support horizontal, la paroi verticale, et en faisant abstraction des bords latéraux, droit et gauche, de la paroi, nous dirons que le tourbillon est *horizontal.* En prenant

[1]) Voir l'ouvrage précité de l'auteur „Historja naturalna lodu", chap. XII.

en considération les bords latéraux de la paroi, nous pouvons prévoir qu'à droite et à gauche l'axe du tourbillon ira en s'infléchissant vers le plan du support, comme cela est montré schématiquement par la fig. 5.

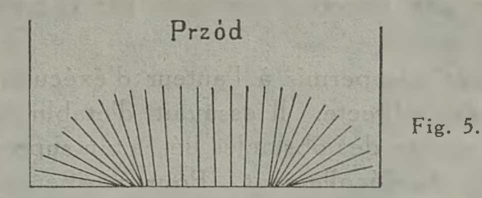


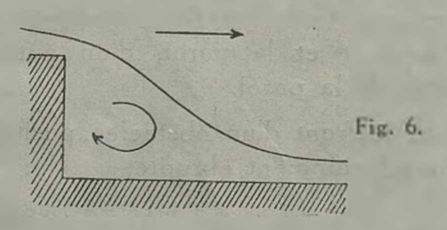
Fig. 5.

La présence de ce tourbillon est démontrée par des observations directes[1]) et indirectes[2])

Il resterait à étudier, par des expériences appropriées, des détails de la distribution des vitesses de même que la forme et les dimensions du tourbillon et leurs variations en fonction de la vitesse du courant et de la forme, de l'inclinaison et des dimensions de la face frontale de l'obstacle.

2) *Espace postérieur.* Nous avons vu que pour une forme donnée de l'obstacle *libre* il existe une valeur limite du nombre de Reynolds, au-dessus de laquelle on a, derrière l'obstacle, un espace de décollement avec tourbillons errants, tandisqu'au-dessous de cette même valeur limite on n'a qu'un tourbillon fixe. Cela vaut aussi pour un obstacle lié à un support; l'apparition d'un tourbillon fixe sera ici, en comparaison avec le cas d'un obstacle libre, *favorisée,* justement à cause de la présence du support. Pour se rendre compte de la circulation de l'air dans les montagnes et des phénomènes qui en dépendent, il serait important de savoir fixer, expérimentalement, pour différentes formes simples, les valeurs limites du nombre de Reynolds, c. à d. les valeurs limites de la hauteur de l'obstacle pour des vitesses constantes, et les valeurs limites des vitesses pour des hauteurs constantes.

a) *Au-dessous* d'une certaine valeur du nombre de Reynolds (au-dessous d'une certaine hauteur de l'obstacle; au-dessous d'une certaine vitesse), on aura, derrière l'obstacle, un *tourbillon fixe postérieur,* homologue du tourbillon fixe frontal, tournant dans le même sens que celui-ci.


Fig. 6.

Son occurrence est démontrée par des observations directes et indirectes. Les „pavillons de vent" (Windfahnen) — ces nuages lenticulaires (à profil fusiforme) se tenant immobiles pendant des bourrasques derrière un sommet de montagne — paraissent répresenter la voûte du tourbillon fixe postérieur, touchant à la surface d'inversion soulevée jusqu'au niveau de condensation.

La présence de ce tourbillon pourrait être décelée, au pied de la face postérieure de l'obstacle, sur le plan du „support", par un *courant opposé au courant général* (portion inférieure du tourbillon).

---

[1]) Neige et sable chassés par le vent, tournoyant devant des proéminences du sol.

[2]) Dune de neige ou de sable, suivie d'une fosse éolique, devant des proéminences du sol. Formes de la déflation et de l'accumulation de la poudre de Lycopode, obtenues par Riabouchinsky sur un support noir portant différents obstacles dans un vent artificicl.

b) *Au-dessus* d'une certaine valeur du nombre de Reynolds (au-dessus d'une certaine hauteur de l'obstacle; au-dessus d'une certaine vitesse), on aura, derrière l'obstacle, un *espace de décollement* avec des *tourbillons errants.* Cet espace correspondrait à une moitié de l'espace de décollement apparaissant derrière un obstacle libre. Contrairement à ce que nous avons prévu pour le cas d'un tourbillon fixe, la présence de tourbillons errants pourrait être décelée, dans la couche inférieure adjacente au „support", par un *faible courant dirigé dans le sens du courant général* (correspondant au „courant axial" de l'espace de décollement dans le cas d'un obstacle libre (voir fig. 1). Un tourbillon détaché aurait ici généralement la forme de *fer-à-cheval* (correspondant à une moitié des tourbillons annulaires se détachant des obstacles libres), dont les branches latérales, droite et gauche, descendraient jusqu'au „support" même. Les „pieds" (un seul ou les deux) de ces fer-a-cheval pourraient être fixés, p. ex. par des inégalités de la surface du „support" (surtout par des creux), et se transformer ainsi en tourbillons fixes, tandisque le reste pourrait se détacher des „pieds" et continuer sa route comme tourbillons errants. Au cas où ils seraient suffisamment rapprochés l'un de l'autre, les deux „pieds" fixés d'un tourbillon errant pourraient entrer en relations réciproques et former un système cohérent de tourbillons liés entre eux par un tourbillon intermédiaire horizontal (comme cela est montré schématiquement sur la fig. 7).

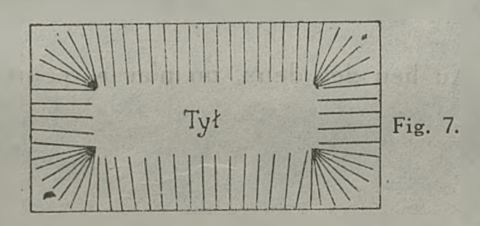


Fig. 7.

L'occurrence de tourbillons errants derrière des obstacles liés à un support, est démontrée par l'occurrence de *nuages errants* ayant la forme de nuages fixes mentionnés plus haut, mais se détachant, en files, des sommets des montagnes, un par un ou „par paquets", et disparaissant à une certaine distance de leur lieu de naissance. Koch en a observé aux côtes du Groenland oriental, sans se rendre compte de leur signification, et l'auteur a reconnu le même type de nuages dans les nuages du mistral (nuages en „os de seiche") à la Rivière française.

3) *Espace latéral.* Ne diffère essentiellement de l'espace latéral se développant autour d'un obstacle libre (zone de la plus grande densité des lignes de courant=zone de la plus grande vitesse). Derrière les arêtes antérieures d'un obstacle ayant des faces parallèles au courant (demiprismes, demicylindres) pourra apparaître le *tourbillon fixe latéral* (voir A, 5, *b*, fig. 3), dont la forme sera ici, en général, celle d'un fer-à-cheval, et le rôle dominant sera joué tantôt par les „jambes", tantôt par la traverse de ce fer-à-cheval, suivant le rapport de la hauteur à la largeur. Ce tourbillon n'a pas encore été signalé; il est pourtant extrêmement commun. [1])

II. Obstacles négatifs.

Soit un enfoncement local du „support" sous forme d'une fosse transversale, à fond horizontal, à versants verticaux. Nous aurons ainsi une combinaison d'une chute (versant *antérieur)*

---

[1]) Au coin des rues (ou des bâtiments isolés), les passants ont toujours affaire, lorsque le vent donne dans la rue, à un tourbillon vertical développé derrière l'arrête verticale de la maison. De même, au front des piliers des ponts des rivières, lorsque ces piliers ont une forme de cylindres allongés dans le sens du courant, on remarque, à droite et à gauche, derrière les arêtes frontales, droite et gauche, du pilier, deux dépressions en entonnoir, d'autant plus développées que le courant est plus fort, marquant deux tourbillons verticaux allant de la surface jusqu'au fond et pouvant être dangereux pour les nageurs. Enfin, là où un plateau descend brusquement vers la plaine basse d'où souffle le vent, les aéronautes doivent se garder du tourbillon horizontal développé sur le plateau même, derrière le bord du précipice.

et d'une élévation (versant *postérieur)*, la situation de ces deux éléments étant ici inverse de celle qui se présente dans le cas d'un obstacle „positif".

La forme du mouvement à une vitesse *(v)* donnée, pour un obstacle à forme donnée et pour un fluide à viscosité cinématique *(ν)* donnée, dépendra ici non seulement de la *profondeur* de la fosse, comme dans le cas précédent, mais encore de la *longueur* (considérée dans le sens du mouvement).

1) *Fosse suffisamment peu profonde.* a) *Fosse suffisamment longue.* On aura: aa) un *tourbillon fixe „postérieur"* derrière le versant *antérieur* de la fosse; bb) un *tourbillon fixe „frontal"* devant le versant *postérieur* de la fosse; cc) un enfoncement des lignes de courant (leur divergence, par conséquent diminution de la vitesse) vers le milieu de la fosse, entre ces deux tourbillons. (Fig. 8).

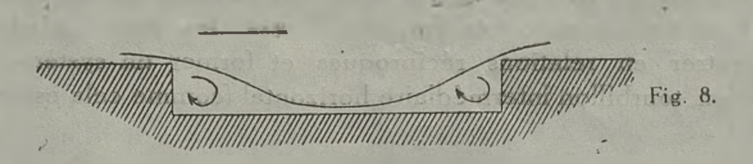


Fig. 8.

b) *Fosse suffisamment courte.* Au lieu des deux, on n'aura qu'un seul tourbillon fixe que j'appelle „*tourbillon de creux*". (Fig. 9).

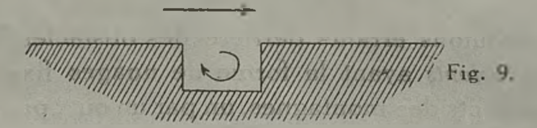


Fig. 9.

2) *Fosse suffisamment profonde.* a) *Fosse suffisamment longue.* On aura: aa) Un *espace de décollement* avec des *tourbillons errants* derrière le versant *antérieur;* bb) un *tourbillon fixe „frontal"* devant le versant *postérieur;* cc) un système de lignes de courant normales (horizontales) entre ces deux espaces. b) *Fosse suffisamment courte* (puits). Pas de tourbillons. Espace mort dans le puits. Lignes de courant normales au-dessus du puits.

Il serait important de savoir fixer, pour des fosses situées dans un courant aérien, les valeurs „critiques" de la profondeur, de même que les valeurs „critiques" de la longueur de la fosse. Quant à ces dernières, on aura ici, probablement, affaire non pas à des lignes de démarcation, mais à une *zone de passage* correspondant à des formes du mouvement intermédiaires entre *a* et *b* de *1*, entre *a* et *b* de *2*.

III. Groupements et combinaisons d'obstacles.

1. *Groupements d'obstacles suffisamment rapprochés l'un de l'autre.* Ce cas ne diffère pas, au fond, de celui d'un groupe d'obstacles libres. L'essentiel, ce sont ici les „*courants d'intervalle*". (Voir plus haut, A, 6).

2. *Combinaisons d'obstacles agrégés* (ou pouvant être considérés comme tels). Ici appartiennent des obstacles dont la forme peut être considérée comme une agrégation de formes élémentaires.

Exemples: circulation de l'air dans les forêts, dans les villes, dans les montagnes; problème de la construction rationnelle de barrières contre la neige ou le sable chassés par le vent.

IV. Forme et grandeur de l'espace de perturbation.

La perturbation du courant, causée par un obstacle *libre* (non lié à un support), s'étend jusqu'à une certaine distance et occupe un espace clos délimité par une surface de séparation entre les lignes de courant parallèles et les lignes de courant déviées par l'obstacle. La grandeur et la forme de cet *espace de perturbation* dépendent, d'un côté, de la vitesse et de la nature du fluide (viscosité cinématique), de l'autre, des dimensions et de la forme de l'obstacle.

Dans le cas d'un obstacle *lié à un support*, la présence de celui-ci ne peut pas être sans influence sur la forme et sur la grandeur de l'espace de perturbation [1]). Cette influence serait difficile à déterminer a priori, et il faudrait commencer par une série d'expériences appropriées [2]).

V. Résistance.

Dans les cas d'un obstacle *libre*, on a affaire (voir plus haut, pp. 1—2):

1) au-dessous de la valeur critique inférieure du nombre de Reynolds, à une résistance tangentielle que l'on appelle aussi „frottement superficiel" et qui n'est autre chose qu'une pure résistance de viscosité, variant proportionnellement à la vitesse (ce cas ne nous intéresse pas ici);

2) au-dessus de la valeur critique supérieure du nombre de Reynolds, à une résistance variant proportionnellement aux carrés des vitesses — exactement (dans le cas de décollement de la couche tourbillonnaire, c. à d. dans le cas d'une courbure suffisante du contour général de l'obstacle: résistance dynamique appelé „résistance de décollement"), ou seulement approximativement (dans le cas où la couche tourbillonnaire ne se décolle pas de la surface de l'obstacle, c. à d. dans le cas d'une courbure suffisante: résistance tangentielle);

3) à une résistance variant proportionnellement aux puissances de la vitesse comprises entre 1 et 2, pour les cas se trouvant entre les deux cas extrêmes indiqués plus haut (c. à d. pour les valeurs du nombre de Reynolds intermédiaires).

Dans le cas d'un obstacle *lié à un support*, on aura, évidemment, affaire aux mêmes genres de résistance. Cependant, pour une forme donnée de l'obstacle, une valeur du nombre de Reynolds laquelle se montre „critique" pour un obstacle libre, ne le sera pas exactement lorsque ce même obstacle sera lié à un support.

VI. Conclusion.

L'auteur n'a fait que de montrer et de souligner l'importance du problème du mouvement d'un fluide autour d'un obstacle lié à un support, pour une explication scientifique d'une foule de phénomènes terrestres importants et répandus, et d'indiquer le chemin pour résoudre ce problème fondamental. Il faudrait, tout d'abord, répéter, avec des obstacles liés à un support, des expériences que l'on fait avec des obstacles libres; seulement il serait nécessaire d'insister sur le côté *morphologique* du mouvement [3]). Ensuite, on devrait compléter ces expériences par des

---

1) En particulier, on prévoit que les „formes de courant", c. à d. les formes de l'obstacle adaptées aux lignes de courant en ce sens qu'elles excluéraient la formation de tourbillons, errants autant que fixes (voir plus haut p. 2), ne seront pas identiques dans les deux cas: une forme qui se montre „forme de courant" pour un obstacle libre, ne le sera pas nécessairement pour un obstacle lié à un support.

2) Pour les aéronautes, il est important de savoir, d'une façon sûre et précise, jusqu'à quelle hauteur s'étend la perturbation du vent causée par une montagne donnée. Les formules que l'on propose ne sont suffisamment fondées ni au point de vue théorique, ni au point de vue expérimental.

3) Riabouchinsky mettait dans le vent artificiel une plaque horizontale à surface noire, saupoudrée de poudre de Lycopode, sur laquelle il fixait des obstacles de différentes formes simples. Retirée du vent, la plaque montrait un dessin (jaune sur le noir) sous forme de lignes et de taches que Riabouchinsky prenait pour un dessin des lignes de courant, mais qui ne représentait, en réalité, que des dunes en miniature (sièges d'accumulation et de déflation). Et c'était à tort que Riabouchinsky croyait se rendre compte, au moyen de *ces* expériences, de l'image du mouvement autour d'un obstacle *libre:* il ignorait ainsi l'influence perturbatrice du plan du support sur lequel l'obstacle était fixé.

La morphologie du mouvement autour des obstacles non liés à un support n'ayant été étudiée suffisamment que dans le cas d'un obstacle sous forme d'un long cylindre transversal, il reste à déterminer la forme exacte du mouvement autour des plaques transversales, autour d'une sphère, autour d'un cylindre ou prisme longitudinal.

observations de ce qui se passe pour de grands obstacles (maisons isolées, tours, montagnes), en se servant d'une fumée froide (pour avoir une image générale du mouvement) et de ballons-sondes (pour déterminer la distribution des vitesses).

Alors seulement on aura un matériel suffisant pour une discussion théorique dont le but sera de pouvoir réprésenter les résultats expérimentaux comme conclusions tirées de la théorie, et de prévoir des phénomènes nouveaux.

Il est vrai que des phénomènes météorologiques se jouant dans les montagnes sont de nature non seulement mécanique, mais encore *thermique*. Cependant, pour en avoir une explication exacte, il faudra commencer par faire abstraction de la thermodynamique, c. à d. considérer les vents comme des courants isothermiques et ayant partout la même densité, et ne compliquer le problème qu'après l'avoir résolu comme un pur problème d'hydrodynamique.